

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 5 月 8 日 (08.05.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/038957 A1

(51) 国際特許分類: H01S 5/323

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/11186

(22) 国際出願日: 2002 年 10 月 28 日 (28.10.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2001-330068

2001 年 10 月 29 日 (29.10.2001) JP

特願 2001-330181
2001 年 10 月 29 日 (29.10.2001) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シャープ株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP];

〒545-0013 大阪府 大阪市 阿倍野区長池町22番22号 Osaka (JP). 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒541-0041 大阪府 大阪市 中央区北浜4丁目5番33号 Osaka (JP).

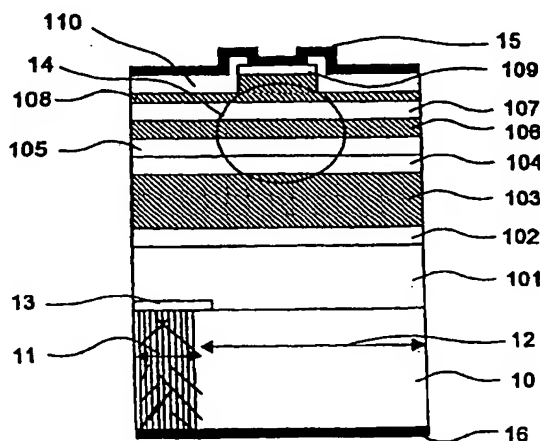
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 伊藤 茂穂 (ITO, Shigetoshi) [JP/JP]; 〒630-0243 奈良県 生駒市 俵口町950-1-313 Nara (JP). 湯浅 貴之 (YUASA, Takayuki) [JP/JP]; 〒636-0131 奈良県 生駒郡 斑鳩町 服部2-9-6 Nara (JP). 上田 吉裕 (UETA, Yoshihiro) [JP/JP]; 〒639-1053 奈良県 大和郡 山市 千日町38-1 Nara (JP). 種谷 元隆 (TANEYA, Mototaka) [JP/JP]; 〒631-0001 奈良県 奈良市 北登美ヶ丘1-12-5 Nara (JP). 谷 善平 (TANI, Zenpei) [JP/JP]; 〒584-0005 大阪府 富田林市 喜志町2-8-33 Osaka (JP). 元木 健作 (MOTOKI, Kensaku) [JP/JP]; 〒562-0005 大阪府 箕面市 新堀5-21-41 Osaka (JP).

[続葉有]

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, ITS MANUFACTURING METHOD, AND SEMICONDUCTOR OPTICAL APPARATUS

(54) 発明の名称: 窒化物半導体レーザ素子、その製造方法および半導体光学装置



(57) Abstract: A nitride semiconductor laser device with a reduction in internal crystal defects and an alleviation in stress, and a semiconductor optical apparatus comprising this nitride semiconductor laser device. First, a growth suppressing film against GaN crystal growth is formed on the surface of an n-type GaN substrate equipped with alternate stripes of dislocation concentrated regions showing a high density of crystal defects and low-dislocation regions so as to coat the dislocation concentrated regions. Next, the n-type GaN substrate coated with the growth suppressing film is overlaid with a nitride semiconductor layer by the epitaxial growth of GaN crystals. Further, the growth suppressing film is removed to adjust the lateral distance between a laser waveguide region and the closest dislocation concentrated region to 40 μ m or more.

[続葉有]



WO 03/038957 A1



(74) 代理人: 佐野 静夫 (SANO, Shizuo); 〒540-0032 大阪府
大阪市 中央区天満橋京町2-6 天満橋八千代ビル別館
Osaka (JP).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

内部の結晶欠陥が低減されるとともに応力の緩和された窒化物半導体レーザ素子及びこの窒化物半導体レーザ素子を備えた半導体光学装置を提供する。結晶欠陥が高密度となる転位集中領域と低転位領域とを交互にストライプ状に備えたn型Ga_{0.5}In_{0.5}N基板の表面上に、まず、Ga_{0.5}In_{0.5}N結晶成長を抑制する成長抑制膜を転位集中領域を被覆するように形成する。次いで、成長抑制膜が形成されたn型Ga_{0.5}In_{0.5}N基板上にGa_{0.5}In_{0.5}N結晶をエピタキシャル成長させて窒化物半導体層を積層する。また、成長抑制膜を省略して、レーザ光導波領域と最近接の転位集中領域との水平方向の距離を40 μm以上とする。

明 細 書

窒化物半導体レーザ素子、その製造方法および半導体光学装置

5 技術分野

本発明は、窒化物半導体基板上に窒化物半導体層が積層されることによって構成される窒化物半導体レーザ素子とその製造方法及びこの窒化物半導体レーザ素子を用いた半導体光学装置に関する。

10 背景技術

Al、Ga、及びIn等のIII族元素と、V族元素であるNとの化合物で構成される窒化物III-V族半導体(以後、「GaN系半導体」と記す)は、そのバンド構造や化学的安定性から発光素子やパワーデバイスとして期待され、応用が試みられてきた。例えば、サファイア基板(Al_2O_3)やSiC基板上にGaN系半導体を積層して青色レーザを発光する窒化物半導体レーザ素子を作製する試みが盛んに行われている。

しかしながら、サファイア基板、SiC基板上にGaN結晶薄膜を成長させるとGaNと基板材料との間の格子定数の違いから、転位などの多くの欠陥がエピタキシャル層に導入される。よって、高密度の電流を流す窒化物半導体レーザ素子の場合、欠陥が引き金になって格子構造が乱れ、欠陥が増殖するという恐れがある。又、窒化物半導体レーザ素子がサファイア基板上に構成される場合、寿命の点でも問題がある。それは、高密度の転位が窒化物半導体レーザ素子の寿命を制限していると考えられる。

これらの点より、GaN系半導体デバイスに用いる基板は、GaN単結晶であることが理想的である。よって、基板と基板に積層される各層との間における格子定数の違いがなくなる。又、GaNは劈開性があるからウエハをチップに切り出す工程が容易になる。更に、GaN結晶には導電性があり電極配置が単純化される。このような点で、基板にGaN単結晶を用いることが最適である。

このようなGaN単結晶によるGaN基板を用いた、紫外から可視領域で発振

する窒化物半導体レーザ素子が、Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp. L647-650で報告されている。この窒化物半導体レーザ素子は、GaN基板上に周期的なストライプ状の開口部をもつSiO₂マスクパターンが形成され、この上に、ストライプ状導波路（リッジストライプ構造）を有する窒化物半導体の積層構造が形成されることにより、構成される。

このGaN基板の製造には、次の方法が用いられている。周期20μm毎にストライプ状の開口部をもつSiO₂マスクパターンが形成された下地となる種結晶上に、MOCVD法（Metalorganic Chemical Vapor Deposition）により、15μm厚のGaN層を形成し、表面が平坦なウェハーを得た。これは、ELOG（Epitaxially Lateral Overgrown）と呼ばれる技術であり、ラテラル成長の利用により、欠陥を低減する手法である。さらに、通常のHVPE法（Hydride Vapor Phase Epitaxy）により200μm厚のGaN層を形成し、下地を除去することでGaN基板が製造された。得られた半導体レーザの寿命特性は、60℃において30mWの出力条件で、推定寿命15000時間となった。

しかしながら、上述の窒化物半導体レーザ素子では、GaN基板の製造方法が、3回の結晶成長（HVPE成長、MOCVD下地成長、MOCVDレーザ構造成長）を必要としており、複雑で、生産性に問題があった。また、寿命特性もまだ十分でなく、さらに高温で高出力（例えば、70℃ 60mW）の条件での寿命特性が十分でなかった。又、製造時に歩留まりの低下につながる積層構造成長後の成長膜表面に現れるクラックによる歩留まりの低下を生じる場合がある。

これらの問題は、窒化物半導体レーザ素子内に存在する結晶欠陥（＝転位）が原因であり、この結晶欠陥は、通常、GaN基板において、約 $5 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ の結晶欠陥が基板表面に存在していることが確認されている。本結晶欠陥を曲げるあるいは消滅させる等の手段を用いれば、低欠陥密度の領域が得られることになり、課題となっている高出力の条件における十分な素子寿命の確保が可能になる。又、GaN基板内あるいはGaN基板上に形成された結晶成長層の中に構造的にひずみを緩和する機構を有していればクラックの生じる確率が低下し、クラックが原因となる歩留まりの低下が生じない。

発明の開示

このような問題を鑑みて、本発明は、内部の結晶欠陥が低減されるとともに応力の緩和された窒化物半導体レーザ素子及びこの窒化物半導体レーザ素子を備えた半導体光学装置を提供することを目的とする。

- 5 上記目的を達成するために、本発明の窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板と、該窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される窒化物半導体レーザ素子において、前記窒化物半導体基板が、結晶欠陥の集中するストライプ状の転位集中領域と、該転位集中領域を除く低転位領域とを具備した基板であるとともに、前記窒化物半導体基板の表面上の前記転位集中領域を被覆する位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を有し、該成長抑制膜が設けられた前記窒化物半導体基板上に前記窒化物半導体結晶を成長させることで、前記窒化物半導体層が積層されることを特徴とする。
- 10

- このようにすることで、窒化物半導体層を窒化物半導体基板の表面上に積層させる際に、転位集中領域からの結晶欠陥である転位の伝播を成長抑制膜で抑制し、窒化物半導体層に高密度な結晶欠陥が広がることが防がれる。よって、窒化物半導体層内の結晶欠陥密度を低くすることができる。
- 15

- このような窒化物半導体レーザ素子において、前記成長抑制膜の形状が線状であり、前記転位集中領域それぞれに対して簀の子状となるように複数本毎の前記成長抑制膜が設けられるとともに、該複数本毎の成長抑制膜によって前記各転位集中領域が覆われるようにしても構わない。このようにすることで、低転位領域から成長する窒化物半導体結晶が結合し易くなり、板状の成長抑制膜が設けられ、低転位領域からの窒化物半導体結晶が結合していない状態で窒化物半導体層が積層される場合に比べて、劈開が容易である。
- 20

- このとき、前記各転位集中領域に対して設けられた前記複数本毎の成長抑制膜が、その幅が $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下で、且つ、隣の成長抑制膜との間隔が $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下で平行に並んで位置するように設けられ、該複数本毎の成長抑制膜の幅と間隔とを合わせた領域それぞれが、前記各転位集中領域を被覆するようにする。
- 25

又、前記窒化物半導体基板の伝導特性をn型の伝導特性とするとともに、前記

成長抑制膜を被覆するように、前記窒化物半導体基板の表面上にn型の伝導特性を有するGaN膜を形成することによって、表面が平坦となるGaN膜を形成することができるため、窒化物半導体層への高密度の結晶欠陥の伝播を防ぐことができる。又、窒化物半導体基板を抵抗の高いn型の導電性の基板とすることで、
5 窒化物半導体層がn型、p型の順序で積層されるため、結晶成長した窒化物半導体層の表面の平坦性がより向上し、レーザを出力するための電流の閾値を低減することができる。このとき、前記n型の伝導特性を有するGaN膜の膜厚を、 $1\mu\text{m}$ 以上 $20\mu\text{m}$ 以下とする。

又、前記成長抑制膜の膜厚を $0.05\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下とすることで、成長
10 抑制膜の効果を与えるとともに、成長抑制膜による影響を防ぐ。又、前記成長抑制膜を、シリコン化合物膜、又は、金属膜とする。更に、このとき、前記成長抑制膜を、 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、チタン膜、又は、タングステン膜のいずれかとする。

上述した窒化物半導体レーザ素子において、前記窒化物半導体層が量子井戸活性層を有するとともに、該活性層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) により構成
15 される井戸層を含有するようにしても構わないし、更に、As、PおよびSbの元素群のうち少なくともいずれかの元素が、前記活性層に含有されるようにしても構わない。又、前記窒化物半導体基板がGaN基板であることが好ましい。

又、本発明の窒化物半導体レーザ素子の製造方法は、窒化物半導体基板と、該
20 窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される窒化物半導体レーザ素子の製造方法において、結晶欠陥の集中するストライプ状の転位集中領域と該転位集中領域を除く低転位領域とを具備した前記窒化物半導体基板の表面上において、前記転位集中領域を被覆する位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を形成した後、該成長抑制膜が設けられた前記窒化物半導
25 体基板上に前記窒化物半導体結晶を成長させることで、前記窒化物半導体層を積層することを特徴とする。

このとき、前記成長抑制膜を前記窒化物半導体基板の表面全域に設けた後、エッチングを行うことによって、前記転位集中領域のみが前記成長抑制膜で被覆された状態とするようにしても構わない。又、前記窒化物半導体基板の伝導特性が

n型の伝導特性であるとともに、前記転位集中領域を前記成長抑制膜で被覆した後、該成長抑制膜を被覆するように、前記窒化物半導体基板の表面上にn型の伝導特性を有するGaN膜を形成し、形成された該GaN膜の表面上に前記窒化物半導体結晶を成長させることで、前記窒化物半導体層を積層するようにしても構
5 わない。

前記目的を達成するために、本発明では、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが40 μ m以上である構成とする。窒化物半導体層のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板の転位集中領域から40 μ m以上ずらして低転位領域上に位置させることで、レーザ光導波領域への基板の転位の影響が抑えられ、レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子
10 となる。

本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板が、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが40 μ m以上であり、隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とするととき、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離tが30 μ m以上である構成とする。窒化物半導体基板に転位集中領域が複数存在するとき、低転位領域の中央部に周囲とは少し性質の異なる領域が生じることがある。この低転位領域中央領域からレーザ光導波領域を30 μ m以上ずらすことで、一層レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子となる。
20
25

本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中

領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、低転位領域がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、転位集中領域と高ルミネッセンス領域が略平行であり、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d が $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t が $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上である構成とする。高ルミネッセンス領域は周囲とは少し性質の異なる領域であり、この領域からレーザ光導波領域を $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上ずらすことで、長寿命の半導体レーザ素子となる。

- 5
10 窒化物半導体基板における隣り合う転位集中領域間の距離 P は $140\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。製造に際し、レーザ光導波領域を転位集中領域からずらすのを容易にするためである。

- また、この距離 P は $1000\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。低転位領域のうちレーザ光導波領域の下方に位置しない不必要な部分が過大になるのを避けるためである。

- 15 窒化物半導体基板としては、その $[1-100]$ 方向に転位集中領域が略平行なものをを用いることができる。

- 本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が高ルミネッセンス領域と略平行であり、レーザ光導波領域と最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t が $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上である構成とする。周囲とは少し性質の異なる高ルミネッセンス領域からレーザ光導波領域を $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上ずらすことで、長寿命の半導体レーザ素子となる。

- 20
25 窒化物半導体基板としては、その $[1-100]$ 方向に高ルミネッセンス領域が略平行なものをを用いることができる。

窒化物半導体層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) から構成される井戸層を含有する量子井戸活性層を有するものとすることができる。

また、窒化物半導体層は、As、P および Sb のうち少なくともいずれかの元

素を含む窒化物半導体から構成される井戸層を含有する量子井戸活性層を有するものとすることもできる。

本発明ではまた、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ光導波領域を低転位領域上に転位集中領域と略平行に設けるとともに、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d を $40\ \mu\text{m}$ 以上とするようにする。このようにすると、レーザ光導波領域への基板の転位の影響を抑えることができ、レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子が得られる。

ここで、隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離 t を $30\ \mu\text{m}$ 以上とするようにしてもよい。周囲とは少し性質の異なる可能性のある低転位領域中央領域からレーザ光導波領域をずらすことで、一層長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

低転位領域中に転位集中領域と略平行なストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板を用いるときは、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t を $30\ \mu\text{m}$ 以上とするようにしてもよい。周囲とは少し性質の異なる高ルミネッセンス領域からレーザ光導波領域をずらすことで、一層長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

隣り合う転位集中領域間の距離 P が $140\ \mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体基板を用いるとよい。レーザ光導波領域を転位集中領域からずらすことが容易になる。

また、この距離 P が $1000\ \mu\text{m}$ 以下の窒化物半導体基板を用いるとよい。低転位領域のうちレーザ光導波領域の下方に位置しない不必要な部分の大きい半導体レーザ素子となるのを避けることができ、また、歩留まりも向上する。

本発明ではまた、互いに略平行な複数のストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半

導体レーザ素子の製造方法において、レーザ光導波領域を高ルミネッセンス領域と略平行に設けるとともに、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t を $30\ \mu\text{m}$ 以上とするようにする。この場合も、長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

- 5 転位集中領域を有する窒化物半導体基板としては、ファセット面 $\{11-22\}$ 面が表出して鋸歯状の凹凸形状となっている表面を有し、転位集中領域が表面の凹凸形状の底部の下方に位置するものを用いることができる。

- また、高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板としては、ファセット面 $\{11-22\}$ 面が表出して鋸歯状の凹凸形状となっている表面を有し、高ル
10 ミネッセンス領域が表面の凹凸形状の頂上部の下方に位置するものを用いることができる。

本発明の半導体光学装置は、上述したような窒化物半導体レーザ素子を光源とすることを特徴とする。

15 図面の簡単な説明

図1Aから図1Dまでは、 n 型GaN基板の製造過程を示す図である。

図2は、第1の実施形態の窒化物半導体レーザ素子の内部構成を示す断面図である。

- 図3は、第1の実施形態における n 型GaN基板上に窒化物半導体層が積層さ
20 れた様子を示す断面図である。

図4は、 n 型GaN基板上に窒化物半導体層が積層された様子を示す断面図である。

図5は、 n 型GaN基板上に窒化物半導体層が積層された様子を示す断面図である。

- 25 図6Aから図6Cまでは、第2の実施形態におけるGaN結晶の成長過程を示す図である。

図7は、第3の実施形態の半導体レーザ素子の構造を模式的に示す縦断面図である。

図8は、第3の実施形態の半導体レーザ素子の層構成を模式的に示す縦断面図

である。

図 9 は、第 3 の実施形態の窒化物半導体レーザ素子におけるレーザ光導波領域と転位集中領域の距離とレーザ発振寿命との関係を示す図である。

図 10 は、第 3 の実施形態の窒化物半導体レーザ素子におけるレーザ光導波領域と高ルミネッセンス領域の距離とレーザ発振寿命との関係を示す図である。

図 11 は、第 4 の実施形態の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図である。

図 12 は、第 5 の実施形態の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図である。

図 13 は、第 6 の実施形態の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図である。

図 14 は、第 3 ～ 第 6 の実施形態の半導体レーザ素子の他の層構成を模式的に示す縦断面図である。

図 15 は、本発明の窒化物半導体レーザ素子を有する第 10 の実施形態の半導体光学装置の内部構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明の実施形態について、図面を参照して、説明する。尚、本明細書で説明する窒化物半導体基板とは、少なくとも $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$) で構成された基板である。さらに、窒化物半導体基板は、その構成成分である窒素元素の約 20% 以下が、As、P および Sb の元素群のうち少なくともいずれかの元素で置換されても構わない。

窒化物半導体基板として、最も好ましくは、二元結晶となる GaN 基板である。二元結晶とすることで、組成が一定となり、基板として安定した特性のものが得られやすくなるとともに、その上にエピタキシャル成長を行う際にも、組成の変化が無くなる。また、GaN とすることで、良好な導電性が得られるようになる。次いでは、AlGaN 基板である。AlGaN 基板のように、屈折率が GaN よりも小さい材料を基板として用いることで、紫外～青色領域の半導体レーザ

を上記材料系で構成する場合、レーザ光の活性層への光閉じ込めが良好になる。

窒化物半導体基板は、*n*型もしくは*p*型のドーパント等の不純物が添加されていても構わない。不純物としては、Cl、O、S、Se、Te、C、Si、Ge、Zn、Cd、MgおよびBe等を用いることができる。その不純物の総添加量は
5 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましい。窒化物半導体基板が
*n*型導電性を有するための不純物は、前記不純物群のうち、Si、Ge、O、Se、Clのいずれかが特に好ましい。

又、窒化物半導体基板（GaN基板）に積層された窒化物半導体層とは、少なくとも $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ ）で構成された層である。窒化物半導体層は、この窒化物半導体層を構成している窒素元素の約10%以下（但し、六方晶系であること）が、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも何れかの元素で置換されても構わない。

窒化物半導体層は、Si、O、Cl、S、C、Ge、Zn、Cd、Mg、及びBeの不純物群のうち、少なくとも何れかの不純物が添加されても構わない。その
15 不純物の総添加量は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましい。前記窒化物半導体層が*n*型導電性を有するための不純物は、前記不純物群のうち、Si、Ge、S、Se、Teの何れかが特に好ましく、*p*型導電性を有するための不純物はMg、Cd、Beの何れかが特に好ましい。

又、本明細書における活性層とは、井戸層もしくは井戸層と障壁層から構成された層の総称を指すものとする。例えば、単一量子井戸構造の活性層は、1つの井戸層のみから構成されるか、もしくは、障壁層／井戸層／障壁層から構成される。また、多重量子井戸構造の活性層は複数の井戸層と複数の障壁層から構成される。

GaNは六方晶系（hexagonal）であるから軸方向や面方位を表すには4つの
25 指数を使う表記方法を採用する。*a*軸、*b*軸は120度をなし、長さは等しい（ $a = b$ ）これらに直交する*c*軸は特異な軸であり*a*軸と等しくない（ $c \neq a$ ）。*a*軸と*b*軸だけでは*ab*面の方向を表す際に対称性がなくなるのもう一つの軸を想定する。これを仮に*d*軸とする。尚、*a*、*b*、*d*軸は、*a*、*b*軸だけで十分に方位を指定できるが対称性を損なわないようにもう一つ余分の*d*軸を導入し

たのであるからこれらは互いに独立でない。

一つの平行面群を4つの指数($k\ l\ m\ n$)で表現したとすると、これは原点から数えて1枚目の面が a 軸、 b 軸、 d 軸、 c 軸を切る点の原点からの距離が a/k 、 b/l 、 d/m 、 c/n であるということである。これは他の晶系の場合と同じ定義である。ただし a 、 b 、 d 軸は平面内に含まれる冗長な座標であるから、 k 、 l 、 m は独立でなく、常に $k + l + m = 0$ である。 c 軸に関しては立方晶等の場合と同じである。同等な平行面が c 軸単位長さに n 枚あるとき c 方向の指数が n となる。だから4つの指数のうち前3つについては回転対称性があるが、 c 軸の指数は独立である。

10 個々の面方位は (\dots) で表現する。集合的な面方位は $\{\dots\}$ によって表現する。集合的なというのはある面方位をその晶系が許す全ての対称操作によって到達できる全ての面方位の集合を意味する。結晶方位も同じ指数によって表現する。結晶方位はそれに垂直な面の指数と同じ指数をつかう。個別の方位は $[\dots]$ であらわす。集合方位は $\langle \dots \rangle$ で表現する。これらは結晶学の常識であるが混乱を避けるため説明した。マイナスの指数は数字の上に横線を引いて示すのが直観的に
15 分かりやすくして結晶学の決まりでもある。しかし数字の上に横線を引く事ができないので、ここでは数字の前に $-$ をつけて負数を示す。

(GaN基板の作製方法)

まず、窒化物半導体レーザ素子を作製するために、その表面に窒化物半導体層
20 を形成するGaN基板の作製方法について、図1A～図1Dを参照して説明する。これらの図は、 n 型GaN基板の製造過程を示すものである。

この n 型GaN基板を製造する際の結晶成長において、ファセット面からなる斜面を有して成長する。尚、ファセット面というのは成長方向に垂直な面(成長面)以外の面をいう。このファセット面となる斜面を維持して成長することで、
25 転位を成長方向に対して伝播させて所定の位置に集合させることができる。このファセット面の成長した領域は、結晶欠陥(=転位)の移動により低転位領域となる。又、ファセット面となる斜面の下部には、明確な境界を持った高密度の欠陥領域を有した成長が成される。そして、転位が、この高密度の欠陥領域(後述する「転位集中領域」に相当する)の境界或いはその内部に集合するため、この

高密度の欠陥領域内で消滅或いは蓄積する。

このとき、この高密度の欠陥領域の形状によって、ファセット面の形状も異なる。高密度の欠陥領域がドット状となる場合、ファセット面が高密度の欠陥領域を取り巻くように形成され、ファセット面から成るピットが形成される。又、高密度の欠陥領域がストライプ状となる場合、この高密度の欠陥領域のストライプとなる部分を底となるようにして、高密度の欠陥領域の両側にファセット面の斜面を形成してV字型となる。

この高密度の欠陥領域を形成するためには、下地基板となる支持基体上に、高密度の欠陥領域を形成する場所に、非晶質又は多結晶の層である転位形成用の種を予め形成しておく必要がある。このように転位形成用の種が表面上に形成された支持基体にGa₂Nを成長させることによって、この転位形成用の種の直上の領域に、高密度の欠陥領域が形成される。そして、この高密度の欠陥領域を有してGa₂N層を成長させることにより、ファセット面を埋め込むことなく、ファセット面を維持して成長を進行させることができる。

15 即ち、ハイドライド気相成長法(HVPE)法により、支持基体21上にn型Ga₂N層22を成長させるとき、ファセット面{11-22}面23が成長中の表面に主として表出するように成長する。その結果、図1Aのように、表面の断面図形は鋸歯状の凹凸形状となる。ただし、凸部の頂点付近には、わずかに、{001}面26が表出した部分がストライプ状に生成される。

20 ここで、HVPE法というのは、ホットウォール型の反応炉の上流部にGaボートを設け、加熱したGa融液にHClガスを吹き込むようにし、反応炉の下流部にGa₂N層22を成長させるための基体21を設けて、NH₃を吹き込むようにしておく。そして、加熱したGaメタル(融液)にHClを吹きこんでGaCl₃を合成し、下方へ送り、下方でNH₃と反応させGa₂Nを合成しGa₂Nが基板25に堆積するようにしたものである。

又、基体21としては2インチ(111)GaAsウェハを用いた。凹凸はピッチP=400μmの周期構造であり、図面奥行き方向に畝状に伸びている形状となっている。このGaAsウェハは、Ga₂Nを成長させて、後述するn型Ga₂N層22のインゴットを作製した後に除去する際に、容易に除去できるため、サ

ファイアウェハなどに比べて適している。このように、凹凸の位置を規定するためには、基体 2 1 上にあらかじめ上記凹部に対応した開口を持つ SiO_2 のマスク（開口部が上述の「転位形成用の種」に相当する）を形成しておき、ファセット面が表出する状態で、結晶成長を行えば良い。

- 5 つまり、マスクの開口部は、Ga N 結晶の $[1-100]$ 方向に平行になるように、ピッチ $P=400\text{ }\mu\text{m}$ でストライプ状配置されており、そのマスクの形状は、連続したストライプ状としたり、あるいは個々のドット状として列上に並ぶような配置にしても良い。以降、本例では、間隔が $400\text{ }\mu\text{m}$ でストライプ状の形状を形成することにより Ga N 基板を作製した例について記述するが、開口部の
- 10 間隔は $400\text{ }\mu\text{m}$ に限る必要は無い。望ましくはこの間隔は $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上がよく、更に望ましくは $200\text{ }\mu\text{m}$ 以上、 $600\text{ }\mu\text{m}$ 以下がよい。

- ファセット面 $\{11-22\}$ 面 2 3 が表出した状態で、結晶成長を持続させる手法（成長条件）に付いては、本出願人が先に出願した日本特開 2001-102307 号公報に詳細に開示している。なお、成長時に酸素をドーピングすること
- 15 とで、成長する結晶を n 型とする。

- このように、ファセット面 $\{11-22\}$ 面 2 3 が表出した状態で結晶成長を持続させ、さらに Ga N 結晶の形成を続けることで、図 1 B のように、基体 2 1 上に高さ 30 mm の n 型 Ga N 層 2 2 によるインゴットが作製される。このとき、その表面上に、種となるマスクの形状に応じたファセット面が形成される。即ち、
- 20 マスクがドット状のパターンとなる場合は、ファセット面からなるピットが規則正しく形成され、又、マスクがストライプ状のパターンとなる場合は、V 字型のファセット面が形成される。

- この n 型 Ga N 層 2 2 によるインゴットを、スライサーによりスライス切断加工して薄片（n 型 Ga N 基板）を得る。更に、この薄片を研磨加工して、図 1 C
- 25 の断面図及び図 1 D の上面図で表されるような、表面が平坦な 2 インチ径、厚さ $350\text{ }\mu\text{m}$ の n 型 Ga N 基板 1 0 が得られる。その後、n 型 Ga N 基板 1 0 の表面を研削、研磨を施すことによって、表面を平坦化して、使用可能な状態とすることができる。即ち、この n 型 Ga N 基板 1 0 において、エピタキシャル成長を行うための表面を鏡面研磨仕上げとする。

尚、この表面は、ほぼ(0001)面としたが、上にエピタキシャル成長される窒化物半導体層のモフォロジーが平坦で良好になるためには、(0001)面から任意の方向に $0.2 \sim 1^\circ$ の範囲で、オフ角度を有していることが望ましく、特に表面の平坦性が最小になるようにするためには、 $0.4 \sim 0.8^\circ$ の範囲と
5 することが好ましい。

このようにして構成されるn型GaN基板10の表面を顕微鏡で詳細に観察した。研磨加工された表面は必ずしも平坦でなく、凹凸が生じている。即ち、図1Aにおける結晶成長時に凹部の最底部が生じていた領域24に対応する領域がやや窪んでいる。

10 又、硫酸、磷酸の混酸を 250°C に加熱した液にサンプルとなるn型GaN基板10を浸しエッチングを行って、ファセット面が集合するエッチピットが表面にできるようにした。その結果、領域24に対応する領域に多数のエッチピットが現れるため、この領域に転位が極めて集中していることが判明した。この上記した領域24は、転位が極めて集中しているために、研磨工程で他の部分よりも侵
15 食されやすく、窪みが生じて生成されたものと考えられる。

この窪みの生じた領域24の幅は約 $10 \sim 40 \mu\text{m}$ であった。この領域24以外の領域は、EPD(エッチピット密度) $10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 台の低転位領域となっており、又、領域24のEPDは、これよりも3桁以上大きくなる。このように、窪みの生じる領域24は、周囲に比べて数桁も結晶欠陥密度(=転位密度)
20 度)が大きくなっている部分で、上述の高密度の欠陥領域に相当する領域であるため、本明細書では、以後「転位集中領域」と呼称する。

この転位集中領域24は基板上の他の領域と異なり、極性が反転している場合があった。即ち、n型GaN基板10の表面位置において、転位集中領域24以外の面はGa(ガリウム)が露出する面方位であり、転位集中領域24の面はN
25 (窒素)が露出する面方位である場合があった。又、この転位集中領域24は、このような状態を含めていくつかの状態がある。即ち、例えば、多結晶からなる場合、単結晶であるが周囲の低欠陥領域に対して微かに傾斜している場合、又、上述のような周囲の低欠陥領域に対して[0001]方向のc軸が反転している場合などがある。このような転位集中領域24は、明確な境界を有して、周囲の

領域と区別される。

また、サンプルとなる n 型 GaN 基板 10 に対して紫外線 (Hg ランプ 365 nm 輝線を用いることができる) を照射して、表面からのルミネッセンスを顕微鏡を用いて蛍光顕微鏡観察を行った。その結果、転位集中領域 24 に挟まれた低
5 転位領域の中央に、比較的はっきりと境界をもった、周囲とコントラストが異なるストライプ状の領域が観察される。この領域は、周囲よりも肉眼で観察される発光 (ルミネッセンス) が強く、やや黄色がかった発光が明るく観察される領域である。

この観察された発光の明るい領域 25 は、結晶成長時に $\{0001\}$ 面が表出しつつ成長していた部分である。このように周囲と異なって観察されるのは、ドーパントの取りこまれが周囲と異なるなどの理由が考えられる。よって、以下、この領域 25 を「高ルミネッセンス領域」と呼称する。又、結晶成長時に、 $\{0001\}$ 面が表出しつつ成長した部分は必ずしも同一の幅をもって均一に進行するものではないために、高ルミネッセンス領域 25 の幅は、やや揺らぎを持って
15 いるものの、 $0\mu m$ から $30\mu m$ の程度であった。

このような n 型 GaN 基板 10 の形成のための結晶成長方法は、HVPE 法以外の気相成長によってもよく、MOCVD 法 (Metalorganic Chemical Vapor Phase Deposition)、MOVPE 法 (Metalorganic Chloride Vapor Phase Epitaxy)、昇華法などを用いても実施することができる

又、 n 型 GaN 基板 10 の形成のための成長に用いる基体 21 としては、 $GaAs$ の他にも、軸廻りに六回対称性あるいは三回対称性がある単結晶基板を用いることができる。つまり結晶系としては六方晶系又は立方晶系 (Cubic symmetry) の単結晶である。立方晶系の場合 (111) 面を使えば三回対称性がある。サファイア、 SiC 、 SiO_2 、 $NdGaO_3$ 、 ZnO 、 GaN 、 AlN 、 ZrB_2 などの六方晶系の単結晶を用いることができる。 Si 、スピネル、 MgO 、 GaP などの立方晶系の (111) 面基板を用いることもできる。これらは GaN を (0001) 面で成長させるものである。
25

更に、 n 型 GaN 基板 10 の形成のためのマスクの設け方も 2 種類ある。一つは基体 21 の上に直接にマスクを形成する手法である。この場合エピ層に先立ち

窓の内部の基板露出面にGaNバッファ層を堆積する等の工夫が必要になる。もう一つは基体21の上に予め薄くGaN層を形成しておいて、その上にマスクを形成する手法である。後者の方が成長がスムーズに進行し、より好ましい場合が多い。

5 <第1の実施形態>

上述のようにして形成され、転位集中領域及び高ルミネッセンス領域を有するn型GaN基板を用いて製作される窒化物半導体レーザ素子の第1の実施形態について、図面を参照して以下に説明する。図2は、本実施形態の窒化物半導体レーザ素子1の構成を示す断面図である。尚、図2において、高ルミネッセンス

10 領域は省略している。

(成長抑制膜の形成)

まず、このn型GaN基板10の表面上に、図2のような成長抑制膜13が形成される。この成長抑制膜13は、n型GaN基板10表面において、転位集中領域11(図1A~図1Dの転位集中領域24に相当する)を被覆するように形成される。この成長抑制膜13は、n型GaN基板10に窒化物半導体層を積層して窒化物半導体レーザ装置を構成する際、n型GaN基板10上の成長膜内に転位が引き継がれるのを防ぐ役割を行う。よって、成長抑制膜13については、この成長抑制膜13から通常の窒化物半導体のエピタキシャル成長が困難となる材料が用いられる。本実施形態では、成長抑制膜13の材料として、SiO₂ (酸化シリコン)を用いた。

n型GaN基板10を電子ビーム蒸着装置内に設置し、内部の圧力が所定の真空度に達した後、SiO₂を0.2μmの厚さになるように制御して、SiO₂膜をn型GaN基板10の表面に形成する。その後、蒸着したSiO₂膜を簡便なフォトリソグラフィを用いて、n型GaN基板10表面の転位集中領域11のみを被覆するようにエッチングを行うことによって、成長抑制膜13を形成する。転位集中領域11の幅は40μm以下であるため、被覆する成長抑制膜13の幅を50μmとした。このようにすることで、低転位領域12からGaN結晶が成長を行う。

尚、本実施形態では成長抑制膜13としてSiO₂を用いたが、同様にSi₃

N_4 等のシリコン化合物や、タングステン (W)、チタン (Ti) などの金属を用いても構わない。又、被覆する成長抑制膜13の膜厚を $0.2\mu m$ としたが、 $0.05\mu m \sim 1\mu m$ 程度であれば十分効果が得られる。又、被覆する成長抑制膜13の幅を $50\mu m$ としたが、転位集中領域11を被覆し、低転位領域12に
5 通常の窒化物半導体のエピタキシャル成長が行われるための幅を有していれば更に広くても構わない。

(窒化物半導体層のエピタキシャル成長)

MOCVD装置を用いて、n型Ga_{0.9}N基板10に、V族原料のNH₃とIII族原料のTMGa (トリメチルガリウム) 又はTEGa (トリエチルガリウム) と、
10 ドーパント原料としてのSiH₄を使用し、水素あるいは窒素を原料キャリアガスとして用い、基板温度 $1050^\circ C$ で、膜厚 $3\mu m$ のn型Ga_{0.9}N層101を形成する。ついで、 $800^\circ C$ の基板温度で、上記原料にIII族原料としてのTMI
n (トリメチルインジウム) を加え、n型In_{0.07}Ga_{0.93}Nクラック防止層102を $40nm$ 形成する。

15 次に、基板温度が $1050^\circ C$ に昇温し、TMAI (トリメチルアルミニウム) またはTEAI (トリエチルアルミニウム) のIII族原料を用い、 $1.2\mu m$ 厚のn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層103を形成する。前記n型不純物としてSiが $5 \times 10^{17} cm^{-3} \sim 1 \times 10^{19} cm^{-3}$ になるようにドーパント原料を調整した。続いてn型Ga_{0.9}N光ガイド層104 (Si不純物濃度 $1 \times 10^{16} \sim$
20 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$) を $0.1\mu m$ の膜厚になるように形成する。

その後、基板温度を $750^\circ C$ まで降温し、3周期の、膜厚 $4nm$ のIn_{0.1}Ga_{0.9}N井戸層と膜厚 $8nm$ のIn_{0.01}Ga_{0.99}N障壁層から構成された活性層 (多重量子井戸構造) 105を、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層の順序で形成する。その際、障壁層の形成時のみ、又は、障壁層
25 及び井戸層の両方の形成時に、SiH₄ (Si不純物濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{18} cm^{-3}$) を導入するようにする。又、障壁層と井戸層それぞれの形成を切り換える際に、1秒以上180秒以内の成長中断が実施されると、各層の平坦性が向上し、発光半値幅が減少して好ましい。

このような活性層105にAsが添加される場合はAsH₃ (アルシン) 又は

TBA_s (ターシャリブチルアルシン) 又は TMA_s (トリメチルアルシン) を、活性層 105 に P が添加される場合は PH₃ (ホスフィン) 又は TBP (ターシャリブチルホスフィン) 又は TMP (トリメチルホスフィン) を、活性層 105 に Sb が添加される場合は TMSb (トリメチルアンチモン) 又は TESb (トリエチルアンチモン) を、それぞれ添加すると良い。また、活性層 105 が形成される際、N 原料として、NH₃ 以外に N₂H₄ (ヒドラジン) 又は C₂N₂H₈ (ジメチルヒドラジン) 等のヒドラジン原料、あるいはエチルアジドなどのアジド原料を用いても構わない。

活性層 105 に複数層の In_xGa_{1-x}N 量子井戸を有する場合、及び活性層 105 に As 又は P 添加して量子井戸活性層とする場合、量子井戸中に貫通転位があると、In が転位部分に偏析することが知られている。従って、上記 In_xGa_{1-x}N を主構成元素とする量子井戸を活性層に用いる場合には、転位 (結晶欠陥) を可能な限り少なくすることが良好なレーザ特性を得るためには必要である。

次に、基板温度を再び 1050℃ まで昇温して、厚み 20 nm の p 型 Al_{0.3}Ga_{0.7}N キャリアブロック層 106、0.1 μm の p 型 GaN 光ガイド層 107、0.5 μm の p 型 Al_{0.1}Ga_{0.9}N クラッド層 108 と 0.1 μm の p 型 GaN コンタクト層 109 を順次形成する。この際、p 型不純物として原料に EtCP₂Mg (ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ になるように調整する。Mg 原料としてはシクロペンタジエニルマグネシウム、ビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウムなど、他のシクロペンタ系の Mg 原料を用いても構わない。

又、p 型 GaN コンタクト層 109 の p 型不純物濃度は、p 電極 15 の方向に向かって、p 型不純物濃度を多くする方が好ましい。このことにより p 電極 15 を形成する際のコンタクト抵抗が低減する。又、p 型不純物である Mg の活性化を妨げている p 型層中の残留水素を除去するために、p 型層成長中に微量の酸素を混入しても構わない。

このようにして、p 型 GaN コンタクト層 109 を形成した後、MOCVD 装置のリアクター内を全て窒素キャリアガスと NH₃ に変え、基板温度を 60℃ /

分の割合で降下させる。基板温度が 800°C に達した時点で、 NH_3 の供給を停止し、5 分間、基板温度を 800°C で維持させて待機してから、基板温度を室温まで降下させる。この待機温度は 650°C から 900°C の間が好ましく、待機時間は、3 分以上 10 分以下が好ましい。又、基板温度を降下させる際の到達速度は、 $30^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 以上が好ましい。

このようにして作製された窒化物半導体層がラマン測定によって評価された結果、前記手法により、MOCVD 装置からのウェハー取りだした後の p 型化アニールが実行されなくても、Mg が活性化しているため、成長後すでに p 型化の特性が示される。又、p 電極 15 の形成によるコンタクト抵抗も低減する。更に、従来の p 型化アニールが組み合わせて行われると、Mg の活性化率がより向上して好ましい。

尚、n 型 $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラック防止層 102 は、In 組成比が 0.07 以外であっても構わないし、n 型 InGaN クラック防止層 102 自体がなくても構わない。しかしながら、n 型 AlGaN クラッド層 103 と n 型 GaN 基板 10 との格子不整合が大きくなる場合は、この n 型 InGaN クラック防止層 102 を挿入した方がクラックを防止するため好ましい。また、クラックを防止するために、n 型の不純物として、Si の代わりに Ge を用いても構わない。

又、活性層 105 は、障壁層で始まり障壁層で終わる構成であったが、井戸層で始まり井戸層で終わる構成であってもよい。又、井戸層の層数は、前述の 3 層に限らず、10 層以下であれば閾値電流密度が低く、室温連続発振が可能である。このとき、特に 2 層以上 6 層以下とした場合、閾値電流密度が低く好ましい。更に、この活性層 105 に、Al が含有されても構わない。

又、活性層 105 は、井戸層と障壁層の両層に Si が所要量添加された構成とされたが、不純物が添加されない構成としても構わない。しかしながら、Si のような不純物が活性層 105 に添加される方が発光強度が強くなる。このように添加される不純物としては、Si 以外に O、C、Ge、Zn および Mg の不純物群のうち、少なくとも何れかの不純物としても構わない。又、この不純物群の添加量の総和は、約 $1 \times 10^{17} \sim 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度が好ましい。更に、不純物が添加される層は、井戸層と障壁層の両層に限らず片方の層のみにとっても構

わない。

又、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ キャリアブロック層106は、その組成を別のものとしても構わない。例えば、 In を添加すれば、より低温成長でp型化するので、基板温度を低温として成長させることができ、結晶成長時に活性層105に
5 ダメージを与えることが減少する。尚、p型 AlGaIn キャリアブロック層106自体がなくても構わないが、このp型 AlGaIn キャリアブロック層106を設けた方が閾値電流密度が低くなる。これは、p型 AlGaIn キャリアブロック層106が活性層105にキャリアを閉じ込める働きがあるからである。

又、p型 AlGaIn キャリアブロック層106の Al 組成比を高くすることによって、キャリアの閉じ込めが強くなって好ましい。このとき、キャリアの閉じ込めが保持される程度まで Al 組成比を小さくすれば、p型 AlGaIn キャリア
10 ブロック層106内のキャリア移動度が大きくなり電気抵抗が低くなるため、更に好ましい。

又、n型 AlGaIn クラッド層103とp型 AlGaIn クラッド層108として、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 結晶が用いられたが、 Al の組成比が0.1以外となる
15 AlGaIn 3元結晶であっても構わない。 Al の混晶比が高くなると活性層105とのエネルギーギャップ差及び屈折率差が大きくなり、キャリアや光を活性層105に効率良く閉じ込めることができるため、レーザ発振閾値電流密度の低減させるができる。又、キャリアおよび光の閉じ込めが保持される程度まで Al 組
20 成比を小さくすれば、n型 AlGaIn クラッド層103及びp型 AlGaIn クラッド層108それぞれでのキャリア移動度が大きくなり、素子の動作電圧を低くすることができる。

このとき、n型 AlGaIn クラッド層103の厚みを、 $0.7\mu\text{m}\sim 1.5\mu\text{m}$ とすることで、垂直横モードの単峰化と光り閉じ込め効率が増し、レーザの光
25 学特性の向上とレーザ閾値電流密度の低減を図ることができる。又、n型クラッド層103及びp型クラッド層108を、 AlGaIn 3元混晶としたが、 AlInGaIn 、 AlGaInP 、 AlGaInAs 等の4元混晶としても良い。更に、p型クラッド層108は、電気抵抗を低減するために、p型 AlGaIn 層とp型 GaIn 層からなる超格子構造、又は、p型 AlGaIn 層とp型 InGaIn 層からな

る超格子構造で構成しても構わない。

又、n型Ga_{0.9}N基板10上に窒化物半導体層を積層する際に、MOCVD装置による結晶成長方法が用いられるものとしたが、分子線エピタキシー法(MBE)、又は、上述したHVPE法が用いられても構わない。

5 続いて、上述のようにして窒化物半導体層の各層がn型Ga_{0.9}N基板10上に形成されたエピウェハをMOCVD装置から取り出した後、窒化物半導体レーザ素子チップに加工するための後述する各プロセス工程がなされる。ここで、図2のように、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層108は凸型のリッジストライプ部となっているが、これは後述するプロセス工程により加工された形状である。

10 このようにして、窒化物半導体レーザ素子を作製し終えたエピウェハの表面は、成長抑制膜13直上以外は平坦となる。又、成長抑制膜13直上において、窒化物半導体層はエピタキシャル成長せず凹状の状態となる。このようにして得られた窒化物半導体層において、エピタキシャル成長が成された成長抑制膜13直上以外の部分（以下、「エピタキシャル成長部分」と呼ぶ）にはクラックが全く観
15 察されることは無かった。

これは、成長抑制膜13直上に生成される凹部が応力を緩和しているため、エピタキシャル成長部分が、リッジストライプ部に対して垂直方向（図2の左右方向）に残留応力が低減されることによるものと考えられる。又、Ga_{0.9}N基板10の表面まで伝搬している転位が成長抑制膜13により、Ga_{0.9}N基板10の上部に
20 位置するエピタキシャル成長部分への拡散を防止しているため、窒化物半導体層の中は基板の低欠陥領域内の転位密度を超えることなく通常のGa_{0.9}N基板10を使用したものよりも転位密度が低くなる。

又、転位集中領域11ではGa_{0.9}N基板10の表面の極性が窒素面に反転する場合がある旨記述したが、成長抑制膜13を転位集中領域11上に形成して窒化物
25 半導体層を成長させることで、窒素面がGa_{0.9}N基板10の表面に共存することにより通常のGa_{0.9}N面上の成長が阻害されることがなくなる。よって、窒化物半導体レーザ素子の特性としては転位集中領域11の極性が反転していない場合と同様に、結晶欠陥の低減と、応力の緩和による効果が確認できる。

（素子化プロセス）

n型Ga_{0.9}N基板10に対して水平方向に光を閉じ込めるためのリッジストライプ部が、窒化物半導体層の平坦な部分の表面に形成された。但し、高ルミネッセンス領域25(図1A~図1D)を有するn型Ga_{0.9}N基板10を使用する場合には、リッジストライプ部が高ルミネッセンス領域25の直上となる位置に形成されないようにすることが望ましい。これは、高ルミネッセンス領域25が他の領域と比べて、ドーパントの含有量または活性化度が小さく、抵抗率が高くなっているために、窒化物半導体レーザ素子に注入される駆動電流及び素子電圧が上昇するので、高ルミネッセンス領域25に駆動電流が流れることが好ましくないためである。

リッジストライプ部は、エピウエハの表面より、p型AlGa_{0.9}Nクラッド層108の途中までをストライプ状の部分を残してエッチングすることにより、作製される。ここで、ストライプ幅は1~3μm、好ましくは1.3~2μmとし、又、エッチング底面のp型Ga_{0.9}Nガイド層107からの距離は、0~0.1μmとした。その後、リッジストライプ部以外の部分に絶縁膜110を形成する。ここで、絶縁膜110としてはAlGa_{0.9}Nを用いた。エッチングされずに残ったp型Ga_{0.9}Nコンタクト層109は露出しているので、このp型Ga_{0.9}Nコンタクト層109及び絶縁膜110の表面上に、p電極15がPd/Mo/Auの順序で蒸着されて形成された。

ここで、絶縁膜110としては上記以外に珪素、チタン、ジルコニア、タンタル、アルミニウム等の酸化物もしくは窒化物を用いても構わない。又、p電極15の材料として、Pd/Pt/Au、Pd/Au、又は、Ni/Auの何れかが用いられても構わない。

更に、このようにp電極15が形成されたエピウエハの裏面側(基板側)を研磨することにより、エピウエハの厚みを80~200μmに調整し、後にエピウエハの分割を行いやすいようにする。

そして、n電極16が、n型Ga_{0.9}N基板10の裏側にHf/Alの順序で形成される。このn電極16の材料として、Hf/Al/Mo/Au、Hf/Al/Pt/Au、Hf/Al/W/Au、Hf/Au、Hf/Mo/Auの他、これらのうちからHfをTi、Zrに置き換えた電極材料等が用いられても構わない。

最後に、このn電極16が設けられたエピウエハは、リッジストライプ方向に対して垂直方向に劈開されることで、共振器長600 μ mのファブリ・ペロー共振器が作製される。尚、共振器長は300 μ mから1000 μ mが好ましい。この工程により、エピウエハは個々の窒化物半導体レーザ素子が横に連なったバー状の形態となった。ストライプ方向が<1-100>方向に沿って形成された窒化物半導体レーザ素子の共振器端面は、窒化物半導体結晶の{1-100}面である。劈開は、エピウエハ全面にスクライバーによる野書き傷がつけられてから劈開されるのではなく、エピウエハの一部、例えば、エピウエハの両端にのみスクライバーによる野書き傷がつけられて、これを起点に劈開される。

- 10 このようにして得られたバー状のファブリ・ペロー共振器において、その帰還手法として、上述のように劈開されて得られた共振器端面による帰還手法以外に、一般に知られている回析格子が共振器内に設けられたDFB (Distributed Feedback)、回析格子が共振器の外に設けられたDBR (Distributed Bragg Reflector) が用いられても構わない。エピウエハが劈開されて、バー状のファブリ・
- 15 ペロー共振器の共振器端面が形成された後、この端面に70%の反射率を有するSiO₂とTiO₂の誘電体膜が交互に蒸着され、誘電体多層反射膜が形成される。この誘電体多層反射膜として、SiO₂/Al₂O₃が誘電多層反射膜として用いられても構わない。

- 20 このようにして得られるバー状のファブリ・ペロー共振器は、n型GaN基板10上に積層される窒化物半導体層の膜厚又は成長条件(成長時の基板温度や反応炉内の圧力など)が異なることによって、その構成が異なる。例えば、窒化物半導体層の膜厚が薄い場合は、図3のように、窒化物半導体層402が成長抑制膜13の直上で結合が行われず、成長抑制膜13の直上の領域403が離れた状態となる。このとき、成長抑制膜13間の領域に構成される部分が1つの窒化物
- 25 半導体レーザ素子401を構成する。

又、窒化物半導体層の膜厚を図3の場合よりも厚くしたとき、図4又は図5のようになる。即ち、図4では、窒化物半導体層502が成長抑制膜13の直上で結合されるが、成長抑制膜13の直上の領域503において、窒化物半導体層502の表面上まで達したクラックが存在する。又、この領域503において、図

4のように、成長抑制膜13表面上に空洞504を有する場合もある。このとき、成長抑制膜13間の領域に構成される部分が窒化物半導体レーザ素子501を構成する。

又、図5では、窒化物半導体層602が成長抑制膜13の直上で完全に結合された状態となる。よって、図4と異なり、成長抑制膜13の直上の領域603において、窒化物半導体層602の表面上まで達したクラックの存在が確認されない。又、この領域603において、図5のように、成長抑制膜13表面上に空洞604を有する場合もある。このとき、成長抑制膜13間の領域に構成される部分が窒化物半導体レーザ素子601を構成する。

10 更に、この後、上述のバー状のファブリ・ペロー共振器を分割することで、図2のような構成の窒化物半導体レーザ素子を得る。このとき、窒化物半導体レーザ素子の中央にレーザ光導波領域14（リッジストライプ部の直下に位置する）を配置し、窒化物半導体レーザ素子の横幅 $W=400\mu\text{m}$ となるように分割する。もともと、 n 型Ga N 基板10にはピッチ $P=400\mu\text{m}$ で転位集中領域24
15 (図1A～図1D)が配置されている。尚、バー状のファブリ・ペロー共振器を分割して、窒化物半導体レーザ素子を得る際、窒化物半導体レーザ素子の横幅 W が、転位集中領域24のピッチ P の整数倍又は整数倍分の1の幅に分割すると都合が良い。

このようにして図2に示される窒化物半導体レーザ素子チップが作製される
20 ことで、結晶欠陥である転位を意図的に制御した n 型Ga N 基板10を用い、転位集中領域11を成長抑制膜13により被覆し、低転位かつ低応力の領域に窒化物半導体レーザ素子の電流狭窄部分となるレーザ光導波領域14が作製される。よって、レーザ出力60mW、雰囲気温度70℃の条件の下、レーザ発振寿命5000時間以上が達成された。

25 尚、本実施形態において、成長抑制膜13の膜厚を $0.2\mu\text{m}$ としたが、これに限るものではない。成長抑制膜13の膜厚を $0.01\mu\text{m}$ から $2\mu\text{m}$ まで変化させて、窒化物半導体レーザ素子を構成したとき、成長抑制膜13の膜厚が $0.05\mu\text{m}$ より薄い場合、窒化物半導体層積層前の昇温により損傷を受け、成長抑制膜13としての効果が得られない。

又、成長抑制膜 13 の膜厚が、 $0.1\ \mu\text{m}$ よりも厚い場合、 n 型 Ga N 基板 10 と成長抑制膜 13 の熱膨張係数差により、窒化物半導体層積層前の昇温が原因となって、成長抑制膜 13 自体が損傷を受けることがある。このとき、成長抑制膜 13 自体が損傷を受けなくても、成長抑制膜 13 以外の Ga N 基板 10 の表面上に直接成長する窒化物半導体層が、成長抑制膜 13 と Ga N 基板 10 との間にできる段差の影響による原料拡散の阻害により段差近傍で異常成長が生じる。このような異常成長が生じることを、「エッジ効果」と称する。このエッジ効果のため、プロセス工程において支障が生じたり、レーザの発振波長が変動したり、又は、発振する閾値が高くなることがある。

- 10 よって、成長抑制膜 13 の膜厚を $0.05\ \mu\text{m}$ 以上、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の条件で作製することによって、成長抑制膜 13 を作製した効果が得られ、このような成長抑制膜 13 を有する窒化物半導体レーザ素子において、高出力エージングにおける良好な素子寿命が得られる。

<第 2 の実施形態>

- 15 上述のようにして形成され、転位集中領域及び高ルミネッセンス領域を有する n 型 Ga N 基板を用いて製作される窒化物半導体レーザ素子の第 2 の実施形態について、図面を参照して以下に説明する。尚、窒化物半導体層のエピタキシャル成長及び素子化プロセスについては、第 1 の実施形態と同様となるため、その詳細な説明は第 1 の実施形態を参照するものとして、省略する。

- 20 本実施形態では、第 1 の実施形態と異なり、転位集中領域 24 (図 1 A ~ 図 1 D) を被覆するように、 n 型 Ga N 基板 10 の表面上に形成される簀の子状となるように、成長抑制膜が形成される。即ち、第 1 の実施形態と同様、まず、 n 型 Ga N 基板 10 を電子ビーム蒸着装置内に設置し、内部の圧力が所定の真空度に達した後、 Si O_2 を $0.2\ \mu\text{m}$ の厚さになるように制御して、 Si O_2 膜を n 型 Ga N 基板 10 の表面に形成する。その後、蒸着した Si O_2 膜を簡便なフォトリソグラフィを用いて、図 6 A のように、その間隔が $5\ \mu\text{m}$ で且つ幅が $10\ \mu\text{m}$ となる成長抑制膜 301 を、3 つ毎に n 型 Ga N 基板 10 上の転位集中領域 11 を被覆するように形成する。

このように、図 6 A に示すように、 Ga N 基板 10 の転位集中領域 11 に、上

述の方法で膜厚 $0.2\ \mu\text{m}$ の成長抑制膜 301 が形成されると、MOCVD 装置を用い、常圧、基板温度 1000°C で n 型の GaN 膜を成長させる。よって、図 6B に示すように、成長抑制膜 301 間の $5\ \mu\text{m}$ の窓部から GaN 結晶 302 が $[0001]$ 方向に成長する。このとき、GaN 結晶 302 の断面形状が完全な凸状の三角になった状態となる。そして、MOCVD 装置反応炉の圧力を $70\ \text{Torr}$ に下げ、基板温度 1080°C で再び GaN 結晶 302 を成長させる。

このとき、図 6B において、n 型 GaN 結晶 304 は成長抑制膜 301 に被覆されていない部分からの成長部分であり、この n 型 GaN 膜 304 中には n 型 GaN 基板 10 内の転位集中領域 11 以外の領域の転位密度と同程度の転位密度しか存在しない。又、GaN 結晶 302 の中には、 $[0001]$ 方向の成長軸に対して平行方向に転位 303 が引き継がれて存在する。しかしながら、 $[0001]$ 方向の成長軸に対して垂直となる横方向への成長が始まると、この転位 303 は $[0001]$ 方向に対して垂直な方向に曲がる。このとき、ファセット面である $(11\bar{2}2)$ 面及び $(\bar{1}\bar{1}22)$ が最先端となって成長する。

このようにして、図 6B のように凸状に GaN 結晶 302 が成長した部分から、横方向の成長が促進し、図 6C に示すように、成長抑制膜 301 上の中央部分で相合して更に上向きに成長する。又、低転位である n 型 GaN 膜 304 が横方向に成長することによって、このように GaN 結晶 302 が成長して生成された GaN エピタキシャル膜を被覆する n 型 GaN 膜 305 が形成される。この n 型 GaN 膜 305 で被覆された GaN エピタキシャル層は、横方向成長により曲げられた転位 306 を有する。又、横方向成長により GaN 結晶 302 及び n 型 GaN 膜 304 がつながった接合部分 307 には、少量の転位が集中する。

これについては、日本学術振興会短波長光デバイス第 162 委員会第 22 回、光電相互返還第 125 委員会第 171 回合同研究会資料 (2000 年 12 月 15 ~ 16 日) 25 ~ 32 頁に記載されている。このようにして、n 型 GaN 基板 10 の表面上に GaN 結晶を成長させた場合、合計約 $8\ \mu\text{m}$ の膜厚まで成長した GaN 膜 305 の表面は完全に平坦になった。n 型 GaN 膜 305 を成長させた後、第 1 の実施形態と同様の方法で窒化物半導体レーザ素子を構成する層構造を順次結晶成長させた。よって、窒化物半導体層 308 が n 型 GaN 膜 305 上に形

成される。

その後、エッチングをおこなうことで、リッジストライプ部 309 が形成されレーザ素子が作製される。窒化物半導体レーザ素子のリッジストライプ 309 を形成する位置は、転位集中領域 11 直上の領域以外の低転位領域 12 の上部でも
5 構わないし、成長抑制膜 303 の直上でもかまわない。このようにすることで、本実施形態においても、結晶欠陥の低減の効果と、ひずみの緩和の効果により、第 1 の実施形態と同様の特性を有する窒化物半導体レーザ素子を得ることができた。

尚、本実施形態では、成長抑制膜 301 の幅を $10\ \mu\text{m}$ で且つ間隔を $5\ \mu\text{m}$ としたが、成長抑制膜 301 の幅が、選択成長及び横方向成長が可能な幅及び間隔であれば、窒化物半導体レーザ素子の特性においての優位性は認められた。但し、成長抑制膜 301 の幅は $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下であり、且つ、隣の成長抑制膜 301 との間隔が $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下であるときに、最も望ましい特性の窒化物半導体レーザ素子を得ることができる。又、成長抑制膜 301 を覆うように
15 形成される GaN 膜 305 の膜厚を $8\ \mu\text{m}$ としたが、その膜厚を $1\sim 20\ \mu\text{m}$ とすることによって、積層する窒化物半導体層に対して成長抑制膜 301 の影響を低減させることができる。

更に、成長抑制膜 301 の材料として、 SiO_2 を用いたが、第 1 の実施形態と同様に、 Si_3N_4 等のシリコン化合物や、タングステン (W)、チタン (Ti) などの金属を用いても構わない。又、被覆する成長抑制膜 301 の膜厚を $0.2\ \mu\text{m}$ としたが、 $0.05\ \mu\text{m}\sim 1\ \mu\text{m}$ 程度としても構わない。又、簣の子状の成長抑制膜 301 は、その幅と間隔との総和となる幅が、転位集中領域 11 を覆うように構成される。

尚、第 1 及び第 2 の実施形態ではリッジストライプ構造の窒化物半導体レーザ素子について記述したが、その限りではない。又、n 型 GaN 基板の裏面と n 型 GaN 基板の表面に成長して作製した窒化物半導体膜の表面との両面に電極を形成した例について記述したが、p 型及び n 型の両電極を n 型 GaN 基板の表面側に設けるようにしても構わない。

(活性層に As、P および Sb の元素群を含有させた場合)

第1又は第2の実施形態のようにして作製された図2のような構成の半導体レーザ素子は、活性層105をInGaN井戸層とInGaN障壁層が積層された構成とされている。このような活性層105に対して、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも何れかの元素を含有させるようにしても構わない。

- 5 このとき、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも何れかの元素が、窒化物半導体レーザ素子を構成している活性層105のうち少なくとも井戸層に含有されるようにする。このとき、この井戸層に含有された上記As、P及びSbの元素群の総和の組成比をXとするとともに井戸層のN元素の組成比をYとすると、XをYよりも小さくするとともに、 $X/(X+Y)$ を0.3以下とする。

- 10 又、 $X/(X+Y)$ については、0.2以下とする方が好ましい。

- 又、前記元素群の総和の下限值は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。上述の元素群の総和の組成比Xが0.2よりも高くなると、井戸層内において、前記元素の組成比の異なる濃度分離が次第に生じ始める。更に、前記元素群の総和の組成比Xが0.3よりも高くなると、上述の濃度分離から六方晶系と立方晶系が混在する結晶系分離に移行し始めて井戸層の結晶性が低下し始める。一方、上述の元素群の総和の添加量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなると、井戸層に上述の元素を含有したことによる効果が得られにくくなる。
- 15

- このように、As、PおよびSbの元素群の元素を活性層105に含有させることで、井戸層の電子とホールの有効質量が小さくなるとともに、又、井戸層の電子とホールの移動度が大きくなる。よって、窒化物半導体レーザ素子の場合、前者により少ない電流注入量でレーザ発振のためのキャリア反転分布が得られるという効果が得られ、又、後者により活性層で電子とホールが発光再結合によって消滅しても新たに電子・ホールが拡散して高速に注入されるという効果が得られる。
- 20

- 25 これらの効果は、量子井戸内に結晶欠陥が存在しない場合に特に顕著に現れることがわかっている。即ち、活性層105にAs、PおよびSbの元素群のうち何れも含有しないInGaN系窒化物半導体レーザ素子と比べて、これらの元素群のうちの何れかの元素を含有させることで、閾値電流密度が低く、自励発振特性の優れた（雑音特性に優れた）窒化物半導体レーザ装置を作製することが可能

である。

上記の第1、第2の実施形態においては、窒化物半導体層のエピタキシャル成長に先立ち、Ga N基板の表面に転位集中領域を覆うように成長抑制膜を設けたが、以下に述べる各実施形態においては、Ga N基板の表面に成長抑制膜を設けることなく窒化物半導体層のエピタキシャル成長を行う。ただし、Ga N基板の転位集中領域の影響がレーザ光導波領域に及ばないようにするために、両者の相対位置に所定の関係をもたせる。

<第3の実施形態>

図7は本発明の第3の実施形態の半導体レーザ素子3を示す断面模式図である。図7は、本実施形態の半導体レーザ素子3を、光出射方向から見た図である。図7において、10はn型Ga N基板であり、基板10中には、転位集中領域11が存在し、転位集中領域11以外の部分は低転位領域となっている。転位集中領域11のピッチPは40.0 μm である。また、低転位領域中には、さらに転位集中領域11に平行して高ルミネッセンス領域25が存在する。基板10上には、窒化物半導体層（エピタキシャル成長層）1000が形成されている。窒化物半導体層1000中には、レーザ光導波領域14が位置している。また、窒化物半導体層1000上面および基板10下面には、電極15、16がそれぞれ形成されている。図7の断面図には現れていないが、転位集中領域11、高ルミネッセンス領域25およびレーザ光導波領域14は、図7の奥行き方向に延伸しており、互いに略平行の配置となっている。

本実施形態の半導体レーザ素子3を上面側から見たとき（平面視）、レーザ光導波領域14と転位集中領域11との距離をd、レーザ光導波領域14と高ルミネッセンス領域25との距離をtとしたとき、 $d = 80 \mu\text{m}$ 、 $t = 120 \mu\text{m}$ とした。なお、本明細書において、距離dおよびtは各ストライプ状のレーザ光導波領域、転位集中領域、高ルミネッセンス領域の中心位置間の距離から規定されるものとする。また、以下の各実施形態では、低転位領域のうち高ルミネッセンス領域25に相当する中央部を「低転位領域中央領域」とも呼称する。高ルミネッセンス領域として説明する部分は、低転位領域中央領域に置き換えて考えることができる。

(窒化物半導体層のエピタキシャル成長)

n型Ga_{0.99}N基板10上に窒化物半導体層1000等を形成して半導体レーザ素子3を作製する方法について、図8を参照して解説する。図8は、図7の半導体レーザ素子3を、窒化物半導体層1000の層構造を詳細に示すように表した
5 模式図である。なお、Ga_{0.99}N基板10の構造および作製方法は前述のとおりなので、基板10の構造については記載を省略している。

MOCVD装置を用いて、V族原料のNH₃とIII族原料のTMGa（トリメチルガリウム）またはTEGa（トリエチルガリウム）に、ドーパント原料としてのSiH₄を加え、n型Ga_{0.99}N基板10に、基板温度1050℃で、膜厚3
10 μmのn型Ga_{0.99}N層1102を形成した。次いで、800℃の基板温度で、上記原料にIII族原料としてのTMIn（トリメチルインジウム）を加え、n型In_{0.01}Ga_{0.99}Nクラック防止層1103を40nm成長させた。次に、基板温度を1050℃に上げ、TMAI（トリメチルアルミニウム）またはTEAl（トリエチルアルミニウム）のIII族原料も用いて、1.2μm厚のn型Al_{0.01}Ga_{0.99}Nクラッド層1104を成長させた。n型不純物としてSiを5×
15 10¹⁷cm⁻³～1×10¹⁸cm⁻³添加した。続いて、n型Ga_{0.99}N光ガイド層1105（Si不純物濃度1×10¹⁶～1×10¹⁸cm⁻³）を0.1μm成長させた。

その後、基板温度を750℃に下げ、3周期の、厚さ4nmのIn_{0.01}Ga_{0.99}N井戸層と厚さ8nmのIn_{0.01}Ga_{0.99}N障壁層から成る活性層（多重量子井戸構造）1106を、障壁層／井戸層／障壁層／井戸層／障壁層／井戸層／障壁層の順序で成長させた。その際、障壁層または障壁層と井戸層の両方にSiH₄（Si不純物濃度は1×10¹⁶～1×10¹⁸cm⁻³）を添加した。障壁層と井戸層、または井戸層と障壁層との間に、1秒以上180秒以内の成長中断を
25 実施すると、各層の平坦性が向上し、発光半値幅が減少して好ましい。

活性層にAsを添加する場合はAsH₃（アルシン）またはTBAs（ターシャリブチルアルシン）を、活性層にPを添加する場合はPH₃（ホスフィン）またはTBP（ターシャリブチルホスフィン）を、活性層にSbを添加する場合はTMSb（トリメチルアンチモン）またはTESb（トリエチルアンチモン）を、

それぞれ原料に用いると良い。また、活性層を形成する際、N原料として、 NH_3 以外に N_2H_4 （ヒドラジン）、 $\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_8$ （ジメチルヒドラジン）あるいはNを含む有機原料を用いても構わない。

次に、基板温度を再び 1050°C まで上昇させて、厚さ 20 nm のp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ キャリアブロック層1107、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ のp型 Ga N 光ガイド層1108、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ のp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層1109、および $0.1\text{ }\mu\text{m}$ のp型 Ga N コンタクト層1110を順次成長させた。p型不純物として原料に EtCP_2Mg （ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、 Mg を $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3} \sim 2 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$ で添加した。p型 Ga N コンタクト層1110のp型不純物濃度は、p電極15の方向に向かって高くなるようにした方が好ましい。これによりp電極形成によるコンタクト抵抗が低減する。また、p型不純物である Mg の活性化を妨げているp型層中の残留水素を除去するために、p型層成長中に微量の酸素を混入させてもよい。

このようにして、p型 Ga N コンタクト層1110を成長させた後、MOCVD装置のリアクター内を全て窒素キャリアガスと NH_3 に替えて、 $60^\circ\text{C}/\text{分}$ で温度を降下させた。基板温度が 800°C になった時点で、 NH_3 の供給を停止し、5分間その基板温度で待機してから、室温まで降下した。ここでの基板の保持温度は 650°C から 900°C の間が好ましく、待機時間は、3分以上10分以下が好ましかった。また、温度の降下速度は、 $30^\circ\text{C}/\text{分}$ 以上が好ましい。

このようにして作製した成長膜をラマン測定によって評価した結果、MOCVD装置からのウェハー取り出し後のp型化アニールを実行しなくても、成長後すでにp型化の特性が示されていた（ Mg が活性化していた）。また、p電極形成によるコンタクト抵抗も低下する。上記手法に加えて従来のp型化アニールを組み合わせると、 Mg の活性化率がより向上して好ましかった。

$\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラック防止層1103は、 In 組成比が 0.07 以外であっても構わないし、 In Ga N クラック防止層1103自体がなくても構わない。しかしながら、クラッド層1104と Ga N 基板10との格子不整合が大きくなる場合は、前記 In Ga N クラック防止層1103を挿入した方がクラック防止の点でより好ましい。また、クラックを防止するために、各n型層におけ

るn型の不純物として、Siに代えてGeを用いることも好ましい。

活性層1106は、障壁層で始まり障壁層で終わる構成であるが、井戸層で始まり井戸層で終わる構成であってもよい。また、井戸層の層数は、前述の3層に限らず、10層以下であれば閾値電流密度が低く、室温連続発振が可能であった。

- 5 特に2層以上6層以下のとき閾値電流密度が低く好ましかった。さらに上記で説明した活性層に、Alを含有するようにしてもよい。

また、ここでは活性層1106を成す井戸層と障壁層の両層にSiを所要量添加したが、不純物を添加しなくても構わない。しかしながら、Siのような不純物を活性層に添加した方が発光強度は強かった。このような不純物としては、Si
10 i以外に、O、C、Ge、ZnおよびMgのうちのいずれか、またはこれらの2以上を組み合わせる用いることができる。また、不純物の添加量の総和は、約 $1 \times 10^{17} \sim 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度が好ましかった。さらに、不純物を添加する層は井戸層と障壁層の両層に限らず、片方の層のみに不純物を添加しても良い。

p型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nキャリアブロック層1107は、この組成以外であっても構わない。Inを添加したAlGaInとすれば、より低温での成長でp型化するので、結晶成長時に活性層1106が受けるダメージを低減することができるので、好ましい。なお、キャリアブロック層1107自体が無くても構わないが、これを設けた方が閾値電流密度が低かった。これは、キャリアブロック層1107が活性層1106にキャリアを閉じ込める働きがあるからである。キャリアブ
20 ロック層1107のAl組成比は、高くすることによってキャリアの閉じ込めが強くなって好ましい。また、キャリアの閉じ込めが保持される程度までAl組成比を小さくすれば、キャリアブロック層内のキャリア移動度が大きくなり電気抵抗が低くなって好ましい。

また、ここでは、p型クラッド層1109とn型クラッド層1104として、
25 Al_{0.1}Ga_{0.9}N結晶を用いたが、Alの組成比が0.1以外のAlGaIn₃元結晶であっても構わない。Alの混晶比が高くなると活性層1106とのエネルギーギャップ差及び屈折率差が大きくなり、キャリアや光が活性層に効率良く閉じ込められ、レーザ発振閾値電流密度を低減することができる。また、キャリアおよび光の閉じ込めが保持される程度までAl組成比を小さくすれば、クラッ

ド層でのキャリア移動度が大きくなり、素子の動作電圧を低くすることができる。この点を考慮してp型クラッド層1109のAl組成比を0.06~0.09程度にすることも、好ましい。

5 n型AlGaInクラッド層1104の厚さは、 $0.7\mu\text{m} \sim 1.5\mu\text{m}$ が好ましい。これにより、垂直横モードの単峰化と光閉じ込め効率が増し、レーザの光学特性の向上とレーザ閾値電流密度の低減が図れる。

また、クラッド層1104、1109は、上記ではAlGaIn3元混晶としたが、AlInGaIn、AlGaInP、AlGaInAs等の4元混晶であっても良い。さらに、p型クラッド層1109は、電気抵抗を低減するために、p型AlGaIn層とp型GaIn層からなる超格子構造、p型AlGaIn層とp型AlGaIn層からなる超格子構造、またはp型AlGaIn層とp型InGaIn層からなる超格子構造を有していても良い。

ここでは、MOCVD装置による結晶成長方法を説明したが、分子線エピタキシー法(MBE)、ハイドライド気相成長法(HVPE)を用いても構わない。

15 上記のようにして作製したエピウェハーを窒化物半導体レーザ素子チップに加工するプロセス工程については、既に述べたとおりであるので、説明を省略する。なお、プロセス工程においては、半導体レーザ素子3の横幅(レーザ光導波領域14に垂直な方向の長さ)Wを $400\mu\text{m}$ とした。

もともとのn型GaIn基板10にはピッチ $P=400\mu\text{m}$ で転位集中領域1

20 1が配置され、各低転位領域の中央部に高ルミネッセンス領域25が配置され、また前述のように、 $d=80\mu\text{m}$ 、 $t=120\mu\text{m}$ として、各領域を配置したから、各半導体レーザ素子(チップ)には、1本の転位集中領域と、1本の高ルミネッセンス領域が含まれる。つまり、本実施形態では、 $W=P$ であり、 $2(t+d)=P$ である。

25 (半導体レーザ素子の特性)

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子3では、最適位置に電流狭窄部分が存在することによって、レーザ出力60mW、雰囲気温度70℃の条件の下、レーザ発振寿命5000時間以上が達成された。なお、本発明者らが前述の従来技術によって半導体レーザを作製し、同一条件で試験を行ったところ、その寿命は10

00時間程度であった。

(レーザ光導波領域と基板との位置関係)

本実施形態の窒化物半導体基板10は、上述のごとく、ストライプ状の転位集中領域、低転位領域、高ルミネッセンス領域あるいは低転位領域中央領域のような構造を有していることを特徴とする。あるいは、上述のような製造方法を用いて作製されたことを特徴とする。このような窒化物半導体基板を用いて窒化物半導体レーザ素子を製造する際、窒化物半導体レーザ素子のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板上のどの位置に形成するかによって、レーザ発振寿命が変化することを、本発明者らは見出した。以下に、距離 d および t の好ましい範囲について詳細に検討する。

図9は、 $P = 600 \mu m$ の n 型Ga N 基板上に、本実施形態の半導体レーザ素子3とほぼ同様にして作製し、レーザ光導波領域14の位置を変更したいくつかの半導体レーザ素子のレーザ発振寿命を、レーザ光導波領域14と転位集中領域11との距離 d に対してプロットしたグラフである。評価した距離 d の最大値は $200 \mu m$ である。評価は、レーザ出力60mW、雰囲気温度70℃の条件で行った。その結果、 $d \geq 40 \mu m$ で、実用寿命の3000時間が達成され、 $d \geq 60 \mu m$ で5000時間以上と十分な特性が得られた。なお、寿命の測定は5000時間までしか行っておらず、図9中の上向きの矢印はレーザ発振寿命が5000時間以上であることを示したものである。

$d \leq 10 \mu m$ の場合、レーザ光導波領域14は概ね転位集中領域11上に位置しているが、この場合、寿命数時間以下と極端に特性が劣化した。距離 d が20～30 μm の場合、駆動電流が時間の経過とともに徐々に上昇する現象が見られ、これが200mA付近に達したときに熱暴走によりレーザ発振が不可能となった。pn接合に逆バイアスを印加してpn接合のリーク電流を評価したところ、このように、駆動電流が徐々に上昇するような素子においては、 $d \geq 60 \mu m$ の素子と比較すると明らかにリーク電流が多く、これが経過時間とともに増加していた。

上記手法で作製されたGa N 基板10の転位集中領域11の近くに形成された半導体レーザ素子では、レーザ光導波領域14付近のpn接合に転位(欠陥)

が発生しているため、またはこの影響により p n 接合面が平坦でなく乱れているために、このような駆動時間の経過とともに増大するリークが発生してしまい、寿命特性が劣化したものと推定された。結果として、少なくとも $d \geq 40 \mu\text{m}$ 、好ましくは、 $d \geq 60 \mu\text{m}$ と設定することが必要であると判明した。

- 5 図 10 は、 $P = 600 \mu\text{m}$ の n 型 GaN 基板上 10 に、本実施形態の半導体レーザー素子 3 とほぼ同様にして作製し、レーザー光導波領域 14 の位置を変更したいくつかの半導体レーザー素子のレーザー発振寿命を、レーザー光導波領域 14 と高ルミネッセンス領域 25 との距離 t に対してプロットしたグラフである。評価した距離 t の最大値は $200 \mu\text{m}$ である。評価は、レーザー出力 60 mW 、雰囲気温度 70°C の条件で行った。その結果、 $t \geq 30 \mu\text{m}$ で、実用寿命の 3000 時間が達成され、 $t \geq 50 \mu\text{m}$ で 5000 時間以上と十分な特性が得られた。なお、図 10 中の上向きの矢印は、図 9 と同様に、レーザー発振寿命が 5000 時間以上であることを表している。

- 15 $t = 0 \mu\text{m}$ の場合、レーザー光導波領域 14 は高ルミネッセンス領域 25 上に位置しているが、この場合、寿命 100 時間程度に特性が劣化した。レーザー光導波領域 14 を高ルミネッセンス領域 25 近傍に配置すると、素子電圧の上昇と、駆動電流値の上昇が見られ、これにより、素子寿命が劣化してしまうものと考えられた。基板 10 において高ルミネッセンス領域（あるいは低転位領域中央領域）25 およびその近傍には、周囲よりも抵抗の高い領域が存在しており、そのため
- 20 素子電圧に影響が現れたものと考えられる。素子電圧を詳細に観察すると、 $t \geq 50 \mu\text{m}$ ではほぼ一定となるが、それより小さい領域では若干上昇してきており、結果として、少なくとも $t \geq 30 \mu\text{m}$ 、好ましくは、 $t \geq 50 \mu\text{m}$ と設定することが必要であると判明した。

（基板の好ましい範囲）

- 25 次に、GaN 基板 10 における転位集中領域 11 の現れるピッチ P の好ましい範囲について検討した。前述のように、GaN 基板 10 の作製においては、ファセット面 {11-22} 面を表出させながら、表面の断面形状が鋸歯状の凹凸形状となるようにすることが重要である。こうすることにより、低転位領域、高ルミネッセンス領域 25 を発生させることができ、転位集中領域 11 と高ルミネッ

センス領域 25 の双方から所要距離だけ離れた部分はレーザ導波領域を形成するに好適な領域となる。したがって、上述の効果を得る距離 d の最小値 $40\ \mu\text{m}$ と、上述の効果を得る距離 t の最小値である $30\ \mu\text{m}$ との和 $70\ \mu\text{m}$ の 2 倍以上を、ピッチ P として取らないと、レーザ導波領域を形成する領域が無くなってしまう。よって、距離 P の範囲は $P \geq 140\ \mu\text{m}$ に限定される。

また、距離 P の値は、 GaN 基板 10 の形成において、凹凸形状の位置を一定に保ったまま成長が持続できるか否かの点からも限定される。なぜなら、成長の進行とともに凹凸形状の位置が初期の位置とずれてきてしまうと、ピッチ P が一定しなくなり、得られた GaN 基板 10 に対して所定の位置にレーザ導波領域を
10 設定することが困難になるためである。この点から P の範囲について検討すると、 $P < 50 \mu m$ 程度では、このような状態を保つことができず、 $P \geq 100 \mu m$ とすることが望ましいことがわかった。

さらに、転位を転位集中領域 1 1 に集中させる機能からすると、ファセット面 {1 1 - 2 2} 面を大きく発生させたほうが良く、 $P \geq 300 \mu m$ とすると、上述のように転位集中領域 1 1 と低転位領域での欠陥密度が 3 桁以上異なるようになって好ましかった。距離 P の上限に関しては、これらの要請からは規定されないが、あまり大きくすると、得られるインゴット表面の凹凸が大きくなり、得られるウェハーの取れ数が小さくなってしまうから、 $1000 \mu m$ 程度が適当である。結論として、 $140 \leq P$ が必要であり、好ましくは、 $300 \leq P$ であれば良く、あえて上限を規定するならば $P \leq 1000$ が好ましい。

＜第4の実施形態＞

第4の実施形態の半導体レーザ素子は第3の実施形態の半導体レーザ素子3と同様であるが、距離P、d、tの値等が種々異なるものである。図11は本実施形態の半導体レーザ素子のレーザ光導波領域14とn型GaN基板の転位集中領域11、高ルミネッセンス領域25の配置関係を示す図であり、n型GaN基板60のうち個々の半導体レーザ素子(チップ)とする領域を符号61、62で表している。なお、本実施形態および後述する第5、第6の実施形態においては、レーザ光導波領域14、転位集中領域11、高ルミネッセンス領域25の位置関係が第3の実施形態と異なるが、各実施形態においても第3の実施形態と同

様に符号 3 で半導体レーザ素子を示す。

本実施形態の半導体レーザ素子 3 の製造方法においては、n 型 GaN 基板 60 の転位集中領域 11 のピッチ P は $500\ \mu\text{m}$ であり、1 ピッチに 2 本のレーザ光導波領域 14 を配置して、ピッチあたり 2 個の半導体レーザ素子 (チップ) 3 を
5 形成する。個々の半導体レーザ素子 3 (領域 61、62) の横幅 W は $250\ \mu\text{m}$ である。

一方の領域 61 については、レーザ光導波領域 14 と最近接の転位集中領域 25 との距離 d は $100\ \mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域 14 と最近接の低転位領域中央領域 25 との距離 t は $150\ \mu\text{m}$ である。他方の領域 62 については、レー
10 ザ光導波領域 14 と最近接の転位集中領域 11 との距離 d は $150\ \mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域 14 と最近接の低転位領域間中央領域 25 との距離 t は $100\ \mu\text{m}$ である。

領域 61、62 の幅 W と転位集中領域 11 のピッチ P には $2W = P$ の関係があり、 $2(t + d) = P$ である。また、領域 61 についての距離 d、t を d_1 、 t_1
15 で表し、領域 62 についての距離 d、t を d_2 、 t_2 で表すと、 $d_1 = t_2$ 、 $d_2 = t_1$ である。

一方の領域 61 においては、n 型 GaN 基板 60 中に転位集中領域 11 が 1 本のみ存在し、高ルミネッセンス領域 25 は存在しない。また、他方の領域 62 においては、n 型 GaN 基板 60 中に転位集中領域 11 が存在せず、高ルミネッセ
20 ンス領域 25 が 1 本のみ存在する。本実施形態においても、本発明の効果の出現する距離 d、t、P の範囲は第 3 の実施形態に記載したとおりであり、この範囲において第 3 の実施形態で述べた効果が得られる。

< 第 5 の実施形態 >

第 5 の実施形態の半導体レーザ素子の製造方法は、さらに、1 ピッチ P あたり
25 に作製する半導体レーザ素子 (チップ) 1 の数を 4 個に増大させたものである。図 12 は、図 11 と同様に、半導体レーザ素子のレーザ光導波領域 14 と n 型 GaN 基板の転位集中領域 11、高ルミネッセンス領域 25 の配置関係を示す図であり、n 型 GaN 基板 70 のうち個々の半導体レーザ素子 (チップ) 3 とする領域を符号 71 ~ 74 で表している。

本実施形態の半導体レーザ素子 3 の製造方法においては、n 型 GaN 基板 70 の転位集中領域 11 のピッチ P は $800\ \mu\text{m}$ であり、1 ピッチに 4 本のレーザ光導波領域 14 を配置して、ピッチあたり 4 個の半導体レーザ素子 (チップ) 3 を形成する。各半導体レーザ素子 3 (領域 71 ~ 74) の横幅 W は等しく、 $200\ \mu\text{m}$ である。順に並んだ領域 71、72、73、74 について、レーザ光導波領域 14 と最近接の転位集中領域 11 との距離 d は、それぞれ 80、280、320、 $120\ \mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域 14 と最近接の低転位領域中央領域 25 との距離 t は、それぞれ 320、120、80、 $280\ \mu\text{m}$ である。

図示したように、領域 71 には 1 本の転位集中領域 11 が、領域 73 には 1 本の高ルミネッセンス領域 25 が含まれ、領域 72 および領域 74 には転位集中領域 11、高ルミネッセンス領域 25 のいずれも含まれない。本実施形態の半導体レーザ素子 3 の製造方法においては、 $4W = P$ であり、各レーザ光導波領域 14 に対して $2(t + d) = P$ である。

本実施形態においても、本発明の効果の出現する距離 d、t、P の範囲は第 3 の実施形態に記載したとおりであり、この範囲において第 3 の実施形態で述べた効果が得られる。

< 第 6 の実施形態 >

第 6 の実施形態は、第 4 または第 5 の実施形態とは逆に、幅 $W > \text{ピッチ } P$ とするものである。図 13 は、図 11 と同様に、本実施形態の半導体レーザ素子のレーザ光導波領域 14 と n 型 GaN 基板の転位集中領域 11、高ルミネッセンス領域 25 の配置関係を示す図であり、n 型 GaN 基板 80 のうち半導体レーザ素子 (チップ) 3 とする領域を符号 81 で表している。

本実施形態の半導体レーザ素子 3 の製造方法においては、n 型 GaN 基板 80 の転位集中領域 11 のピッチ P は $200\ \mu\text{m}$ であり、半導体レーザ素子 3 (領域 81) の横幅 W は $300\ \mu\text{m}$ である。つまり、ピッチあたり $2/3$ 個の半導体レーザ素子 (チップ) 3 を形成する (1.5 ピッチに 1 つのチップ 3 を形成する)。レーザ光導波領域 14 と最近接の転位集中領域 11 との距離 d は $50\ \mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域 14 と最近接の低転位領域中央領域 25 との距離 t は $50\ \mu\text{m}$ である。

図示したように、1つの半導体レーザ素子（チップ）3に含まれる転位集中領域11と高ルミネッセンス領域25は、いずれも1本またはそれ以上である。本実施形態の半導体レーザの製造方法においては、 $(2/3)W = P$ であり、各レーザ光導波領域14に対して $2(t + d) = P$ である。

- 5 本実施形態においても、本発明の効果の出現する距離 d 、 t 、 P の範囲は第3の実施形態に記載したとおりであり、この範囲において第3の実施形態で述べた効果が得られる。

上記第3～第6の実施形態においては、1ピッチあたり半導体レーザ素子（チップ）を1個、2個、4個、 $2/3$ 個形成する配置について説明したが、本発明
10 の適用範囲はこれに限られるわけではなく、6個、 $1/2$ 個、 $1/3$ 個等の配置とすることもできる。さらに、Ga_{0.9}N基板上の一部の素子の配置が上記 t 、 d の所要の範囲を逸脱しても構わないようにすれば、このように整数倍または簡単な分数で表せる値以外の数に設定することも可能である。

<第7の実施形態>

- 15 第7の実施形態は、第3～第6の実施形態で述べたリッジストライプ構造を有する窒化物半導体レーザ素子3を、電流阻止層を有する窒化物半導体レーザ素子4に替えたものである。電流阻止層を有する本実施形態の窒化物半導体レーザ素子4について、図14を参照して説明する。

本実施例の半導体レーザ素子4は、n型Ga_{0.9}N基板10、その上に順次形成されたn型Ga_{0.9}N層1201、n型In_{0.07}Ga_{0.93}Nクラック防止層1203、
20 n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層1204、n型Ga_{0.9}N光ガイド層1205、活性層1206、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nキャリアブロック層1207、p型Ga_{0.9}N光ガイド層1208、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}N第1クラッド層1209a、電流阻止層1220、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}N第2クラッド層1209b、p型
25 InGa_{0.9}Nコンタクト層1210およびp電極15、ならびにn電極16から構成される。

電流阻止層1220は、p型電極15から注入された電流が、図14に示した電流阻止層間幅のみを通過できるように電流を阻止する層であれば良い。例えば、電流阻止層1220として、n型Al_{0.25}Ga_{0.75}N層を用いても良い。電流

阻止層 1 2 2 0 の A 1 組成比は 0. 2 5 に限らず、その他の値でも構わない。本実施形態では、電流阻止層 1 2 2 0 の開口部がレーザ光導波領域 1 4 に対応しており、本実施形態においても、本発明の効果の出現する距離 d 、 t 、 P の範囲は第 3 の実施形態に記載したとおりであり、この範囲において第 3 の実施形態で述べた効果が得られる。

< 第 8 の実施形態 >

第 8 の実施形態は、A s、P および S b の元素群のうち少なくともいずれかの元素を窒化物半導体レーザ素子 3 または 4 の活性層に含有するようにしたものである。他の構成は既に述べたとおりである。

10 本実施形態では、A s、P および S b の元素群のうち少なくともいずれかの元素を、窒化物半導体発光レーザ素子 3、4 を構成している活性層 1 1 0 6、1 2 0 6 のうち少なくとも井戸層に含有させる。ここで、井戸層に含有させる上記元素群の総和の組成比を X とし、井戸層の N 元素の組成比を Y とするとき、 X は Y よりも小さく、 $X / (X + Y)$ は 0. 3 (30%) 以下であり、好ましくは 0. 2 (20%) 以下である。また、上記元素群の総和の下限値は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

組成比 X が 20% よりも高くなると、井戸層内の領域ごとに各元素の組成比が異なる濃度分離が次第に生じ始める。さらに、組成比 X が 30% よりも高くなると、今度は濃度分離から六方晶系と立方晶系が混在する結晶系分離に移行し始めて、井戸層の結晶性が低下し始める。一方、上記元素群の総和の添加量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなると、井戸層に上記元素を含有したことによる効果が得られにくくなる。

本実施形態による効果は、井戸層に A s、P または S b を含有させることによって、井戸層の電子とホールの有効質量が小さく、また、井戸層の電子とホールの移動度が大きくなる点にある。半導体レーザ素子の場合、前者は少ない電流注入量でレーザ発振のためのキャリア反転分布が得られることを意味し、後者は活性層で電子とホールが発光再結合によって消滅しても新たに電子・ホールが拡散により高速に注入されることを意味する。即ち、現在報告されているような活性層に A s、P、S b のいずれの元素をも含有しない InGa_N 系窒化物半導体レ

ーザ素子と比べて、本実施形態の窒化物半導体レーザ素子は、閾値電流密度が低く、雑音特性にも優れたものとなる。本実施形態においても、本発明の効果の出現する距離 d 、 t 、 P の範囲は第 3 の実施形態に記載したとおりである。

< 第 9 の実施形態 >

- 5 第 9 の実施形態は、基板上に各窒化物半導体層を形成する際に、選択成長技術を用いるものであり、他は上述の第 3 ～ 第 8 の実施形態のいずれかと同様である。

選択成長技術は、成長を抑制する材料（例えば SiO_2 等の酸化物や、 SiN 、 AlN などの窒化物）からなり開口部を有するマスクを、基板上にあらかじめ設けておき、基板上に各窒化物半導体層を形成する際、その成長初期に、横方向への成長が進行するように制御する技術である。これにより、各窒化物半導体層の成長に伴って生じうるクラックが有効に防止される。マスクは、転位集中領域 11 上、高ルミネッセンス領域 25 上に対応して設けることができ、また、これらの領域に関わらず設けることもできる。少なくともレーザ導波領域 14 の直下にマスクを設けることが、レーザ導波領域に発生しうるクラックを効果的に防止できる点から望ましい。

< 第 10 の実施形態 >

上述した窒化物半導体レーザ素子を光ピックアップシステム等の半導体光学装置に適用した第 10 の実施形態について、図面を参照して以下に説明する。図 15 は、本実施形態における半導体光学装置の内部構成を示すブロック図である。尚、本実施形態では、窒化物半導体レーザ素子を光ディスク装置に利用するものとして説明する。

図 15 に示す光ディスク装置は、光ディスク 701 を円周方向に回転させるためのスピンドルモータ 702 と、光ディスク 701 にレーザ光を照射して情報を読み出す光ピックアップ 703 と、装置全体を制御する制御回路 704 とを有する。尚、光ピックアップ 703 は、制御回路 704 によって駆動される不図示のアクチュエータによって、光ディスク 701 の径方向に移動する。

このような光ディスク装置において、光ピックアップ 703 は、レーザ光を出力する窒化物半導体レーザ素子を有するレーザ装置 705 と、レーザ装置 705 からのレーザ光を透過するとともに追従鏡 708 からのレーザ光を光検出器 7

07へ導出するビームスプリッタ706と、ビームスプリッタ706からのレーザ光を検出して検出信号を制御回路704に与える光検出器707と、レーザ装置705からのレーザ光を光ディスク701へ導くとともに光ディスク701を反射したレーザ光をビームスプリッタ706に導く追従鏡708と、追従鏡708からのレーザ光を光ディスク701上で集光させる対物レンズ709とから構成される。

このとき、レーザ装置705に設けられる本発明による窒化物半導体レーザ素子(330~550nmの発振波長)は、上述したように、高出力(30mW)、高温雰囲気中(60℃)で安定して動作し、尚且つレーザ発振寿命が長寿命である。よって、発振波長が短いほど、より高密度に記録再生が可能となるため、信頼性の高い高密度記録再生用光ディスク装置に最適である。

このような構成の光ディスク装置において、情報の記録時は、レーザ装置705から出力されるレーザ光が、制御回路704からの入力情報に応じて変調され、ビームスプリッタ706を透過した後に追従鏡708で反射され、対物レンズ709を通して光ディスク703上に照射されることで、光ディスク703に情報が記録される。又は、光ディスク703の記録面に与える磁界が制御回路704からの入力情報に応じて変調され、情報がディスク上に記録される。

又、情報の再生時は、光ディスク701上のピット配列によって光学的に変化を受けたレーザ光が対物レンズ709を通して追従鏡708で反射された後、ビームスプリッタ706を通して光検出器707で検出されることによって、再生信号が得られる。これらの動作は制御回路704によって制御される。半導体レーザ素子から出力されるレーザ光のパワーについては、例えば、記録時は30mWで、再生時は5mW程度である。

本発明に係る窒化物半導体レーザ素子は、このような光ピックアップシステムを有する光ディスク装置の他に、例えば、レーザプリンタ、バーコードリーダー、光の三原色(青色、緑色、赤色)レーザによるプロジェクタ等にも利用可能である。

産業上の利用の可能性

本発明は、高出力かつ長寿命のレーザ光源およびその製造方法として好適であり、光ディスク装置、レーザプリンタ、バーコードリーダ等の光学装置の光源として利用可能である。

請求の範囲

1. 窒化物半導体基板と、該窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される窒化物半導体レーザ素子において、

前記窒化物半導体基板が、結晶欠陥の集中するストライプ状の転位集中領域と、該転位集中領域を除く低転位領域とを具備した基板であるとともに、

前記窒化物半導体基板の表面上の前記転位集中領域を被覆する位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を有し、

該成長抑制膜が設けられた前記窒化物半導体基板上に前記窒化物半導体結晶を成長させることで、前記窒化物半導体層が積層されることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

2. 前記成長抑制膜の形状が線状であり、

前記転位集中領域それぞれに対して簀の子状となるように複数本毎の前記成長抑制膜が設けられるとともに、該複数本毎の成長抑制膜によって前記各転位集中領域が覆われることを特徴とする請求の範囲1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

3. 前記各転位集中領域に対して設けられた前記複数本毎の成長抑制膜が、その幅が $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下で、且つ、隣の成長抑制膜との間隔が $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下で平行に並んで位置するように設けられ、

該複数本毎の成長抑制膜の幅と間隔とを合わせた領域それぞれが、前記各転位集中領域を被覆することを特徴とする請求の範囲2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

4. 前記窒化物半導体基板の伝導特性がn型の伝導特性であるとともに、

前記成長抑制膜を被覆するように、前記窒化物半導体基板の表面上にn型の伝導特性を有するGa_xN膜を形成することを特徴とする請求の範囲1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

5. 前記 n 型の伝導特性を有する G a N 膜の膜厚が、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $20\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求の範囲 4 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

6. 前記成長抑制膜の膜厚が $0.05\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

7. 前記成長抑制膜が、シリコン化合物膜、又は、金属膜であることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

8. 前記成長抑制膜が、 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、チタン膜、又は、タングステン膜のいずれかであることを特徴とする請求の範囲 7 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

9. 前記窒化物半導体層が量子井戸活性層を有するとともに、該活性層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) により構成される井戸層を含有することを特徴とする請求の範囲 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

10. As、P および Sb の元素群のうち少なくともいずれかの元素が、前記活性層に含有されることを特徴とする請求の範囲 9 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

11. 前記窒化物半導体基板が G a N 基板であることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

12. 窒化物半導体基板と、該窒化物半導体基板上に積層された窒化物半導体層とから構成される窒化物半導体レーザ素子の製造方法において、

結晶欠陥の集中するストライプ状の転位集中領域と該転位集中領域を除く低転位領域とを具備した前記窒化物半導体基板の表面上において、前記転位集中領域を被覆する位置に、窒化物半導体結晶の成長を抑制する成長抑制膜を形成した

後、

該成長抑制膜が設けられた前記窒化物半導体基板上に前記窒化物半導体結晶を成長させることで、前記窒化物半導体層を積層することを特徴とする窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

13. 前記成長抑制膜を前記窒化物半導体基板の表面全域に設けた後、エッチングを行うことによって、前記転位集中領域のみが前記成長抑制膜で被覆された状態とすることを特徴とする請求の範囲12に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

14. 前記窒化物半導体基板の伝導特性がn型の伝導特性であるとともに、前記転位集中領域を前記成長抑制膜で被覆した後、該成長抑制膜を被覆するように、前記窒化物半導体基板の表面上にn型の伝導特性を有するGaN膜を形成し、

形成された該GaN膜の表面上に前記窒化物半導体結晶を成長させることで、前記窒化物半導体層を積層することを特徴とする請求の範囲12に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

15. 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが40 μ m以上である

ことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

16. 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化

物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板が、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、
転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d が $40\ \mu\text{m}$ 以上であり、

隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離 t が $30\ \mu\text{m}$ 以上である

ことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

17. 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

低転位領域がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、

転位集中領域と高ルミネッセンス領域が略平行であり、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d が $40\ \mu\text{m}$ 以上であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t が $30\ \mu\text{m}$ 以上である

ことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

18. 距離 d が $60\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求の範囲15から請求の範囲17までのいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子。

19. 窒化物半導体基板が転位集中領域を複数有し、
隣り合う転位集中領域間の距離 P が $140\text{ }\mu\text{m}$ 以上である
ことを特徴とする請求の範囲 15 から請求の範囲 17 までのいずれかに記載の
窒化物半導体レーザ素子。

20. 距離 P が $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求の範囲 19 に記載
の窒化物半導体レーザ素子。

21. 転位集中領域が窒化物半導体基板の $[1-100]$ 方向に略平行である
ことを特徴とする請求の範囲 15 から請求の範囲 17 までのいずれかに記載の
窒化物半導体レーザ素子。

22. 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化
物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が高ルミネッセンス領域と略平行であり、

レーザ光導波領域と最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t が
 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上である

ことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

23. 距離 t が $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求の範囲 16、請求の
範囲 17、または請求の範囲 22 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

24. 高ルミネッセンス領域が窒化物半導体基板の $[1-100]$ 方向に略平
行であることを特徴とする請求の範囲 22 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

25. 互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を
除いた領域である低転位領域とを有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状の

レーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、

レーザ光導波領域を低転位領域上に転位集中領域と略平行に設けるとともに、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d を $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上とする

ことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

26. 隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とするとき、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離 t を $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求の範囲25に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

27. 低転位領域中に転位集中領域と略平行なストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板を用い、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t を $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求の範囲25に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

28. 距離 d を $60\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求の範囲25に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

29. 隣り合う転位集中領域間の距離 P が $140\text{ }\mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体基板を用いることを特徴とする請求の範囲25に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

30. 距離 P が $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体基板を用いることを特徴とする請求の範囲29に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

31. 互いに略平行な複数のストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒

化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、

レーザ光導波領域を高ルミネッセンス領域と略平行に設けるとともに、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t を $30\ \mu\text{m}$ 以上とする

ことを特徴とする窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

32. 距離 t を $50\ \mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求の範囲26、請求の範囲27、または請求の範囲31に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

33. 請求の範囲1、請求の範囲15、請求の範囲16、請求の範囲17、または請求の範囲22のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子を光源として備えることを特徴とする半導体光学装置。

1/15

図 1 A

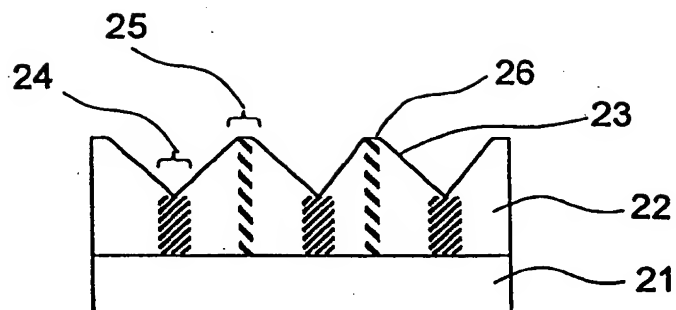


図 1 B

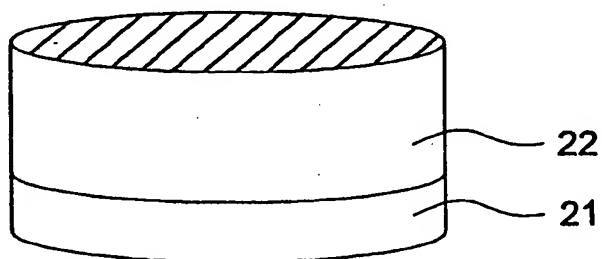


図 1 C

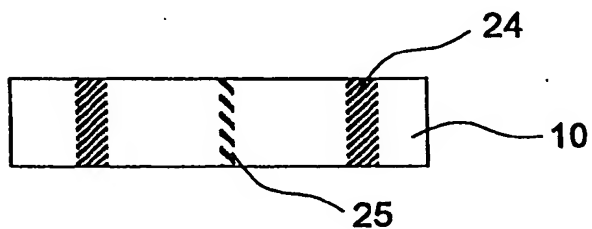
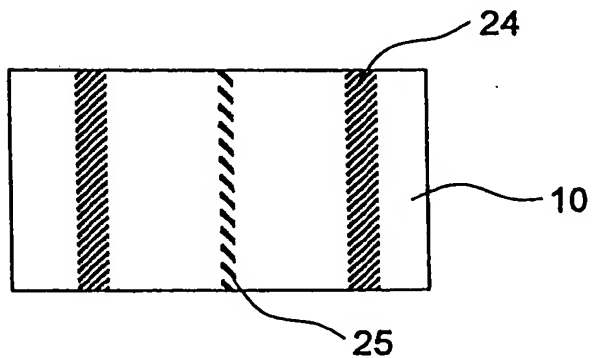
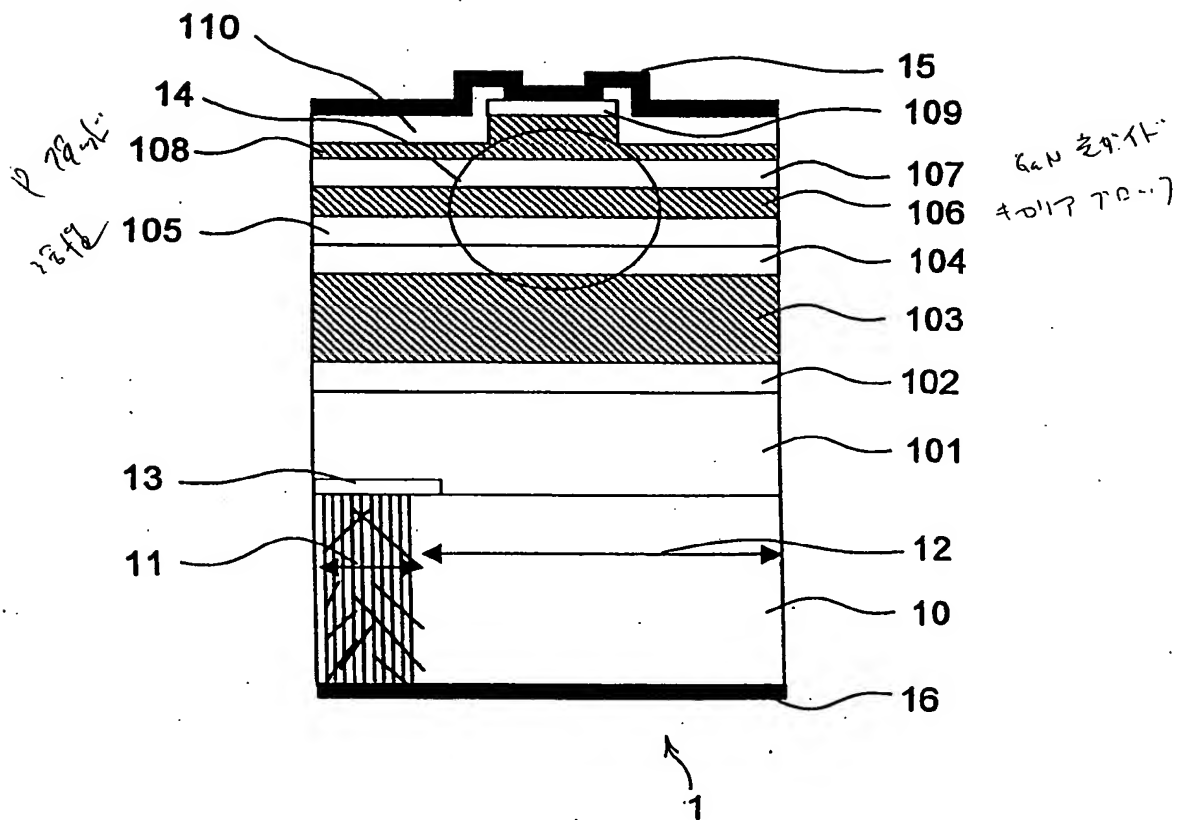


図 1 D



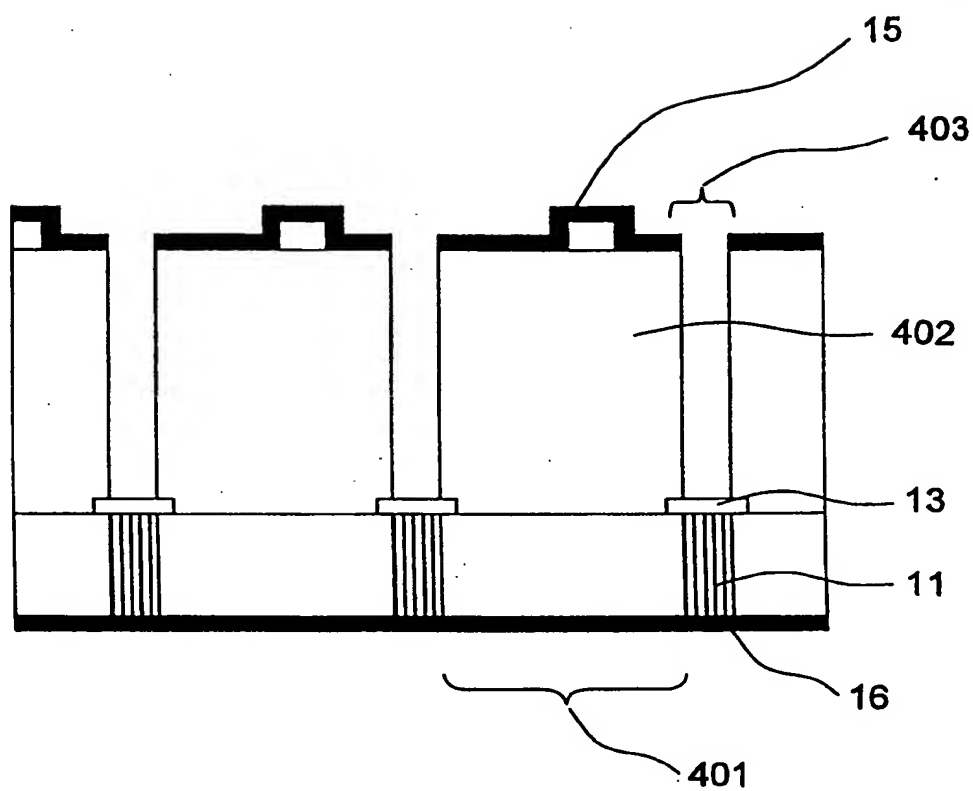
2/15

図 2



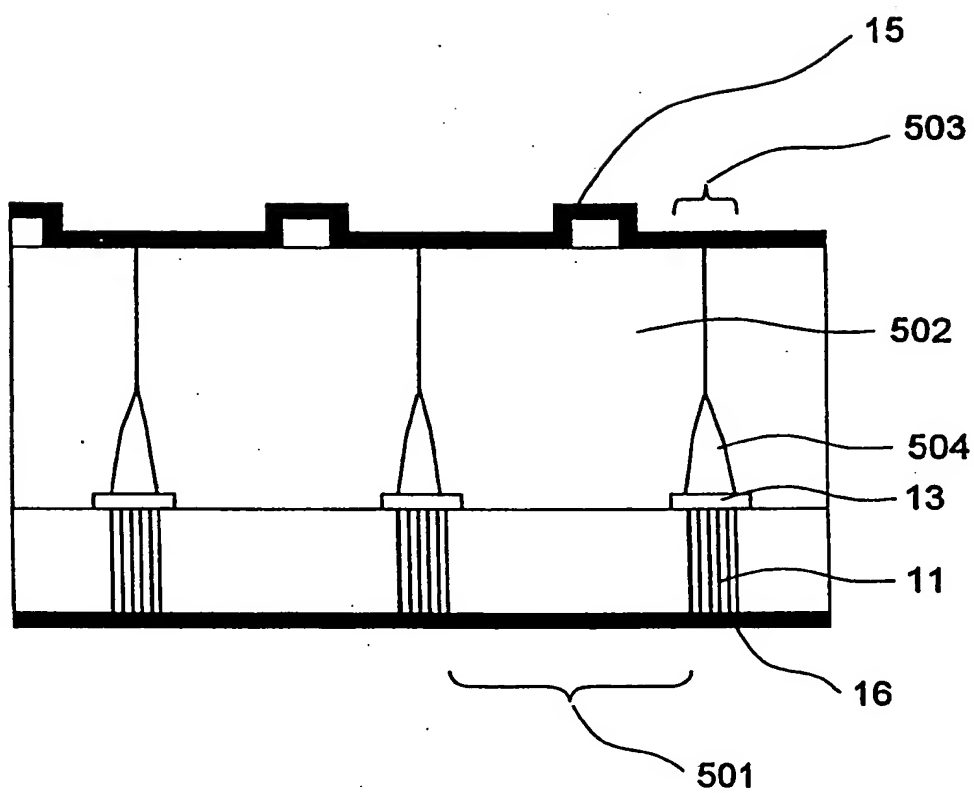
3/15

図 3



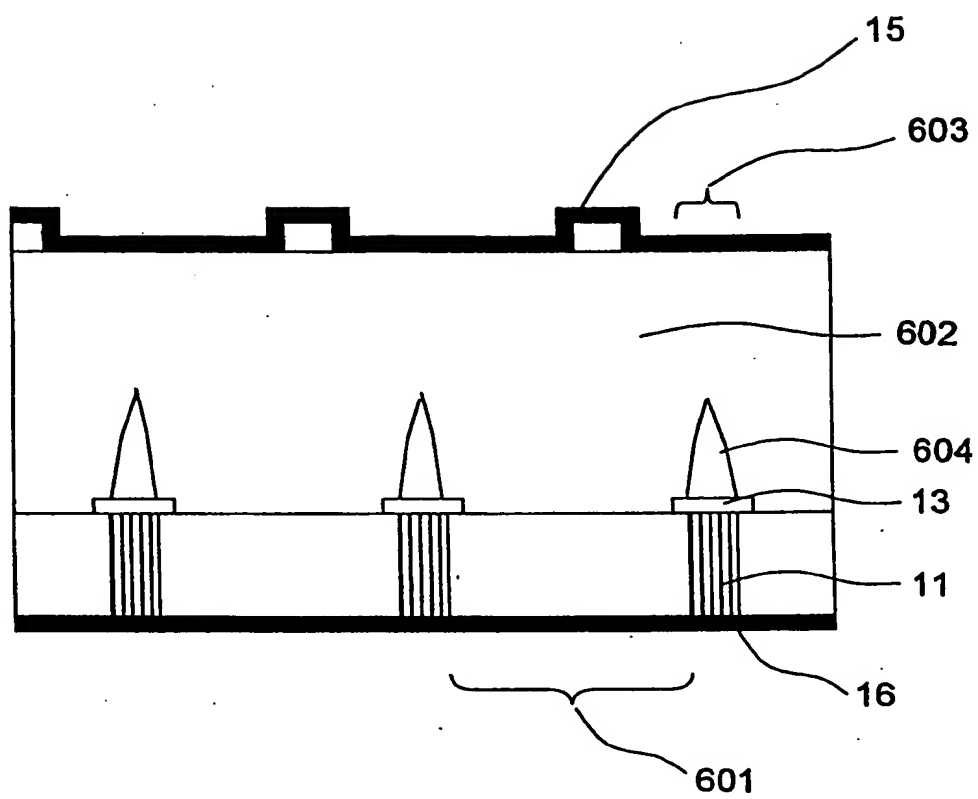
4/15

図 4



5/15

図 5



6/15

図 6 A

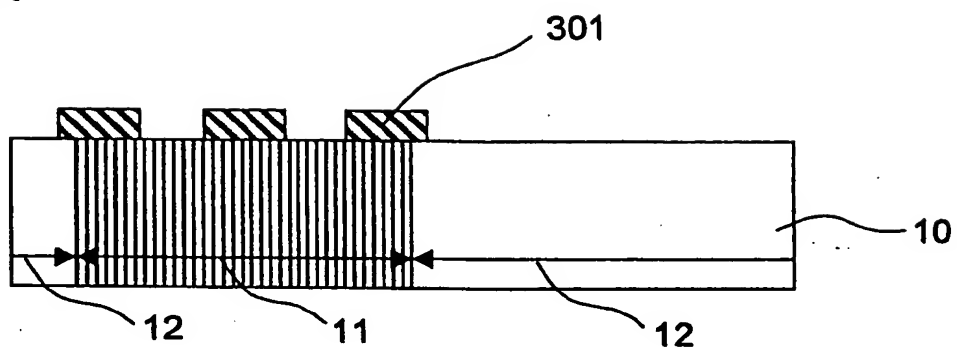


図 6 B

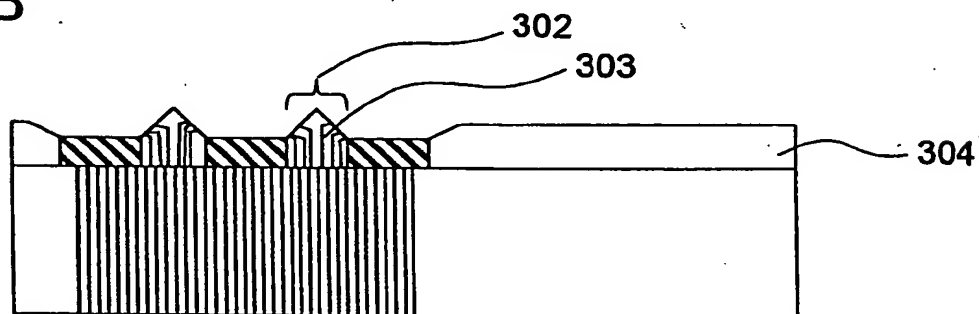
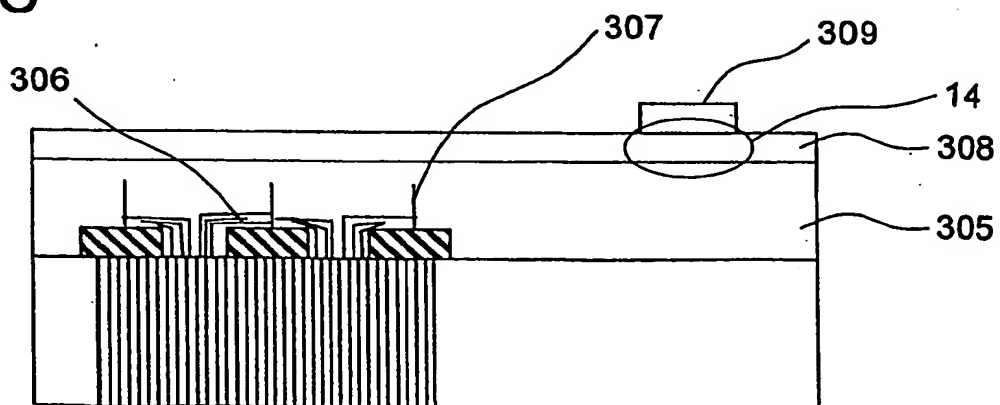
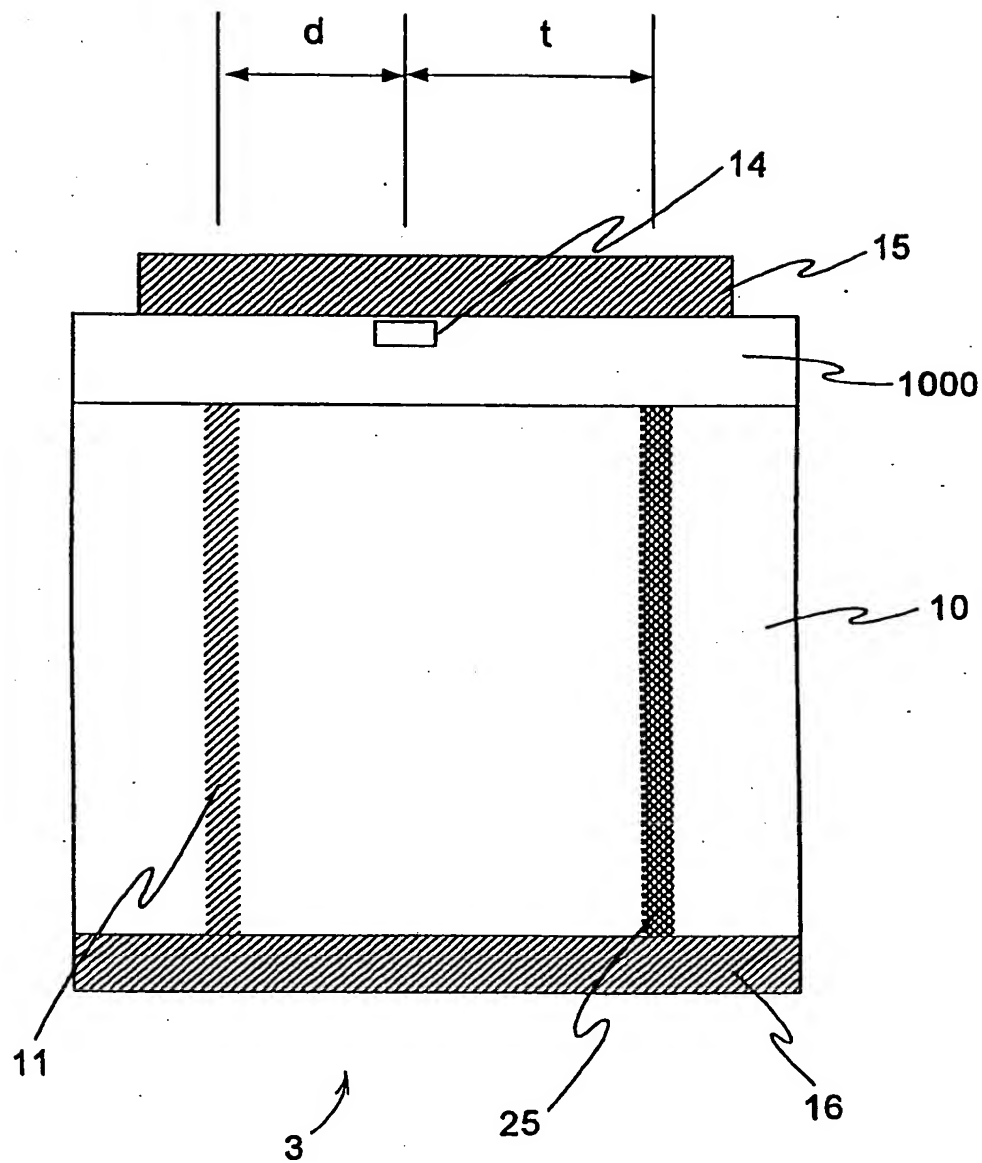


図 6 C



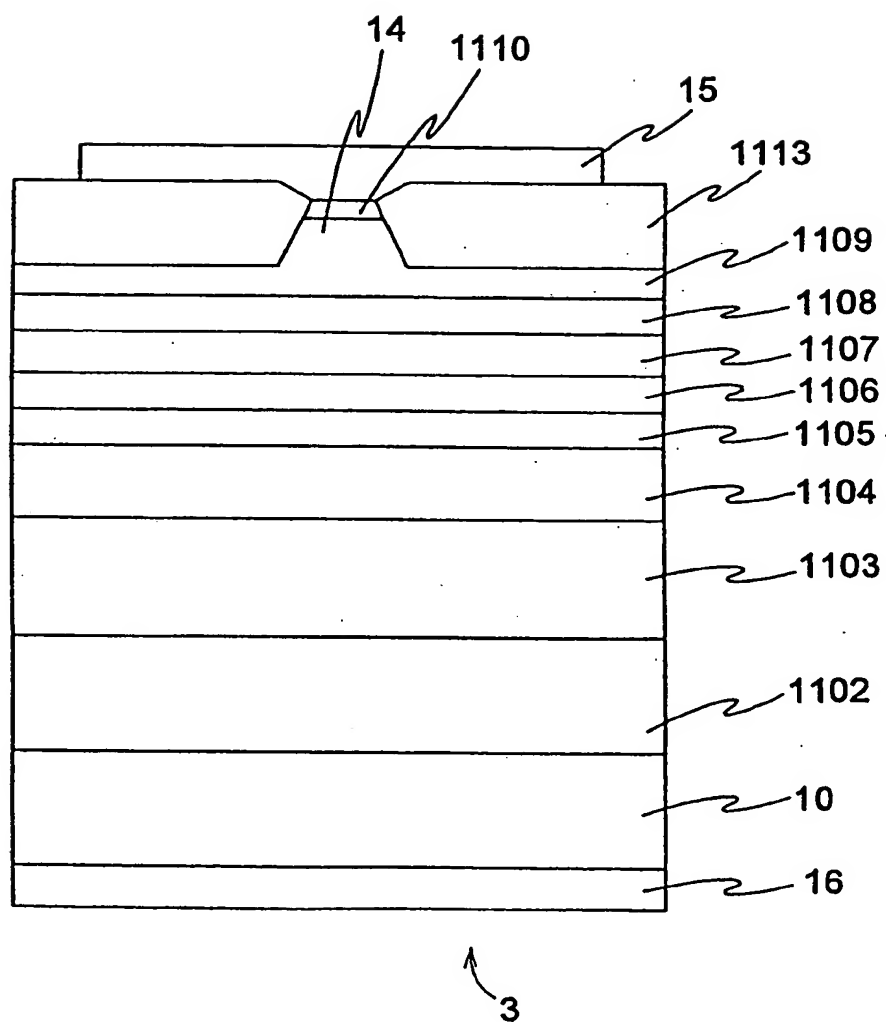
7/15

図 7



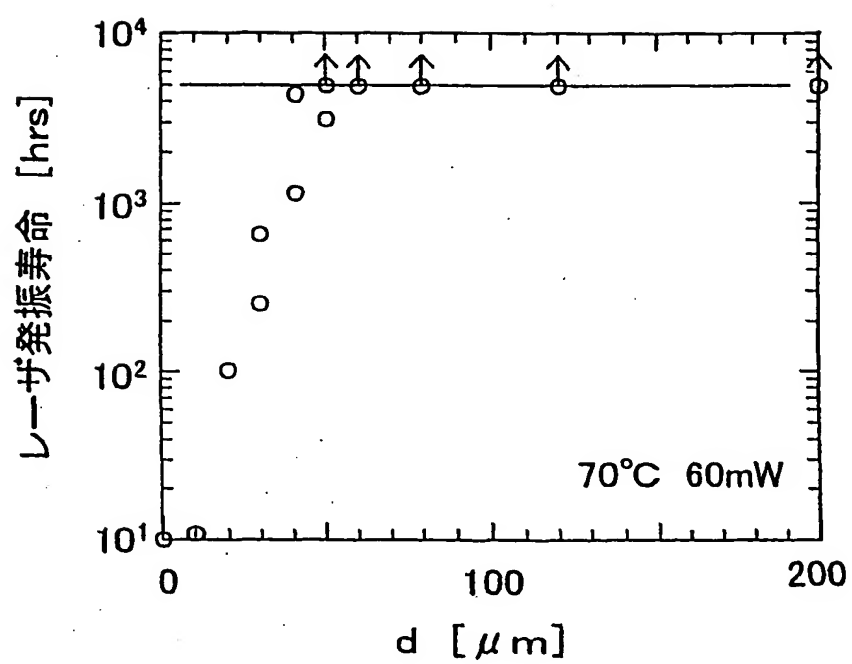
8/15

図 8



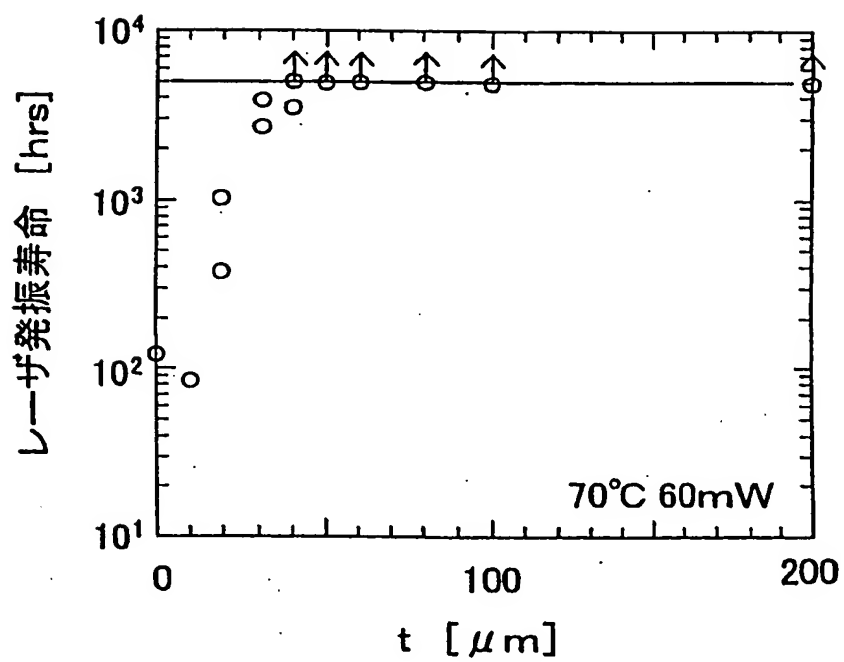
9/15

図 9



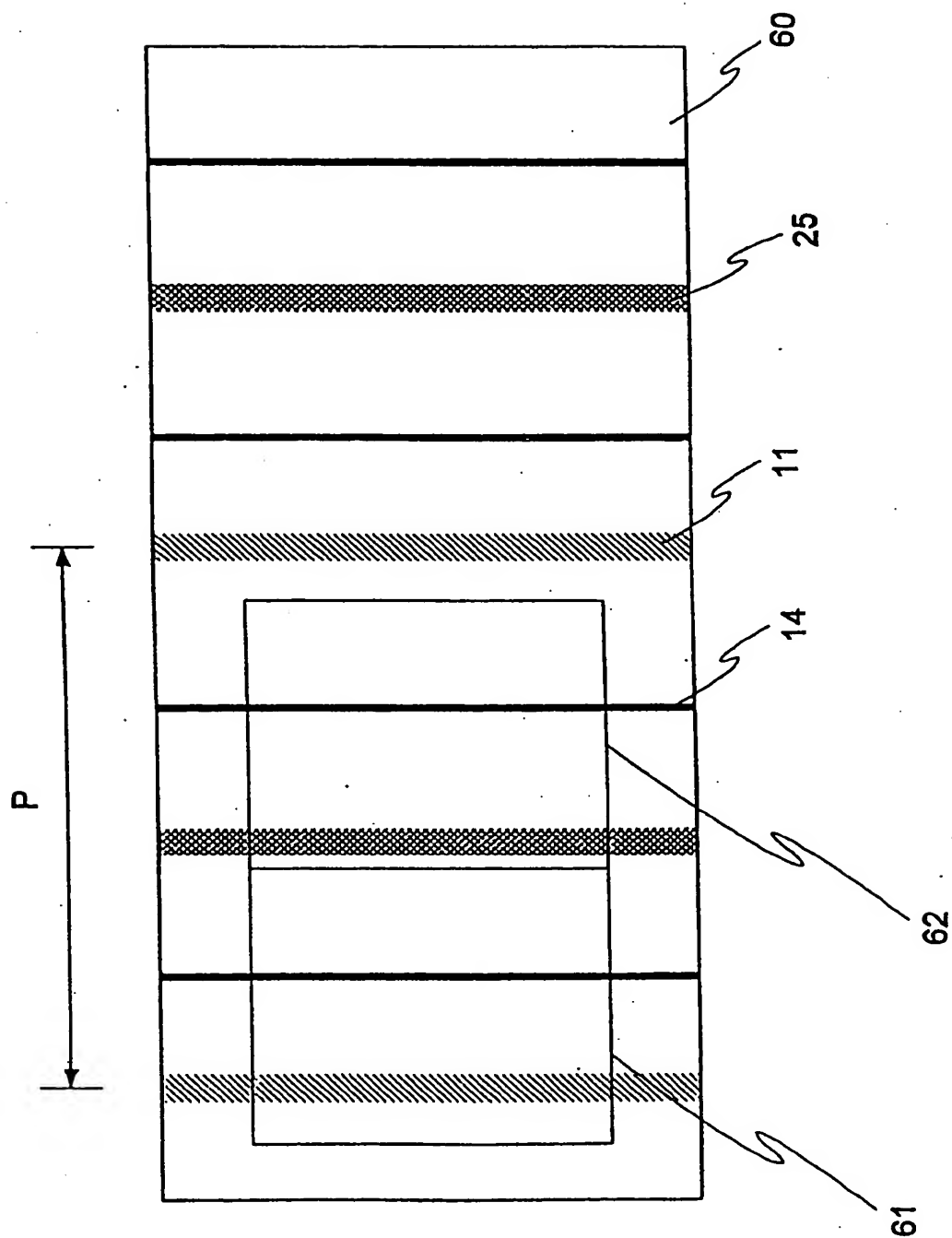
10/15

図 10



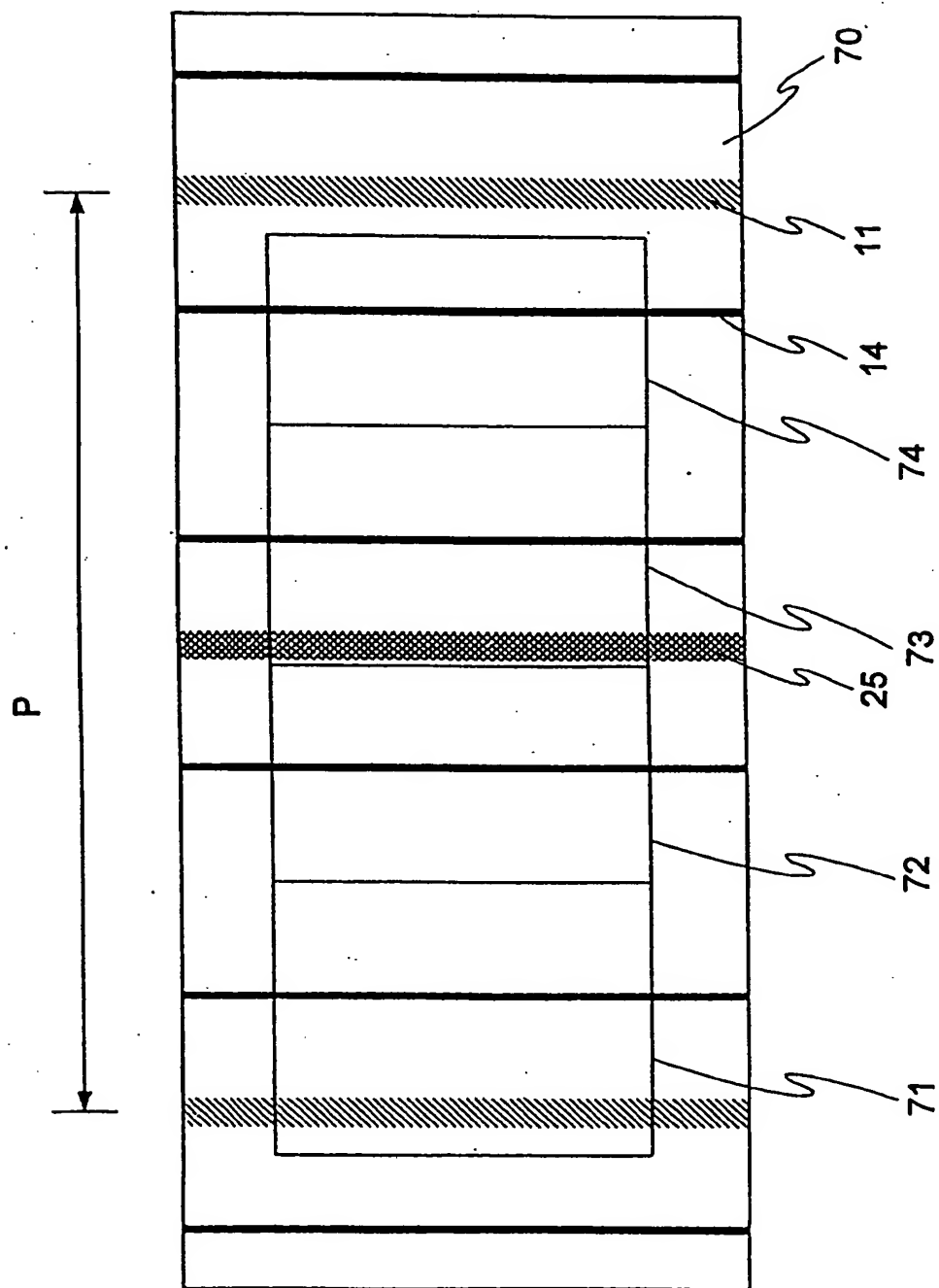
11/15

図 11



12/15

図12



13/15

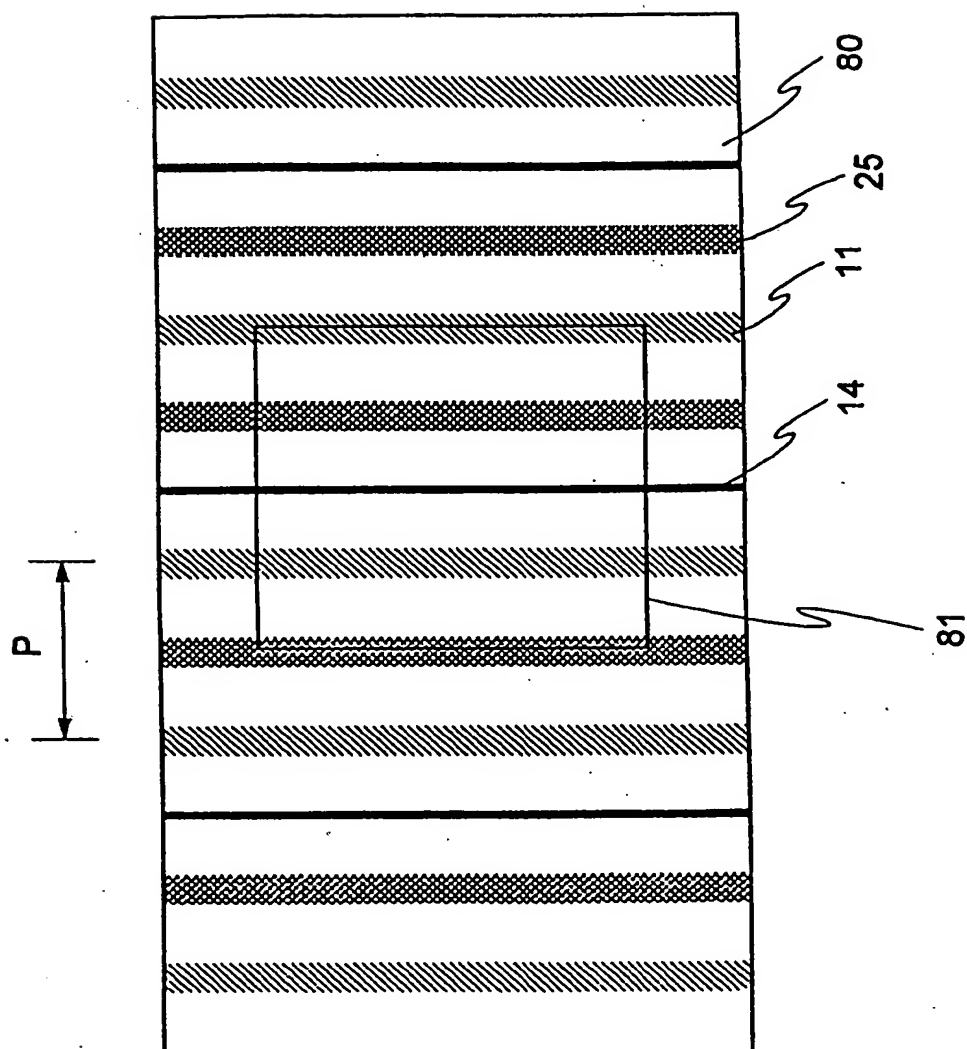


図 13

14/15

図 1 4

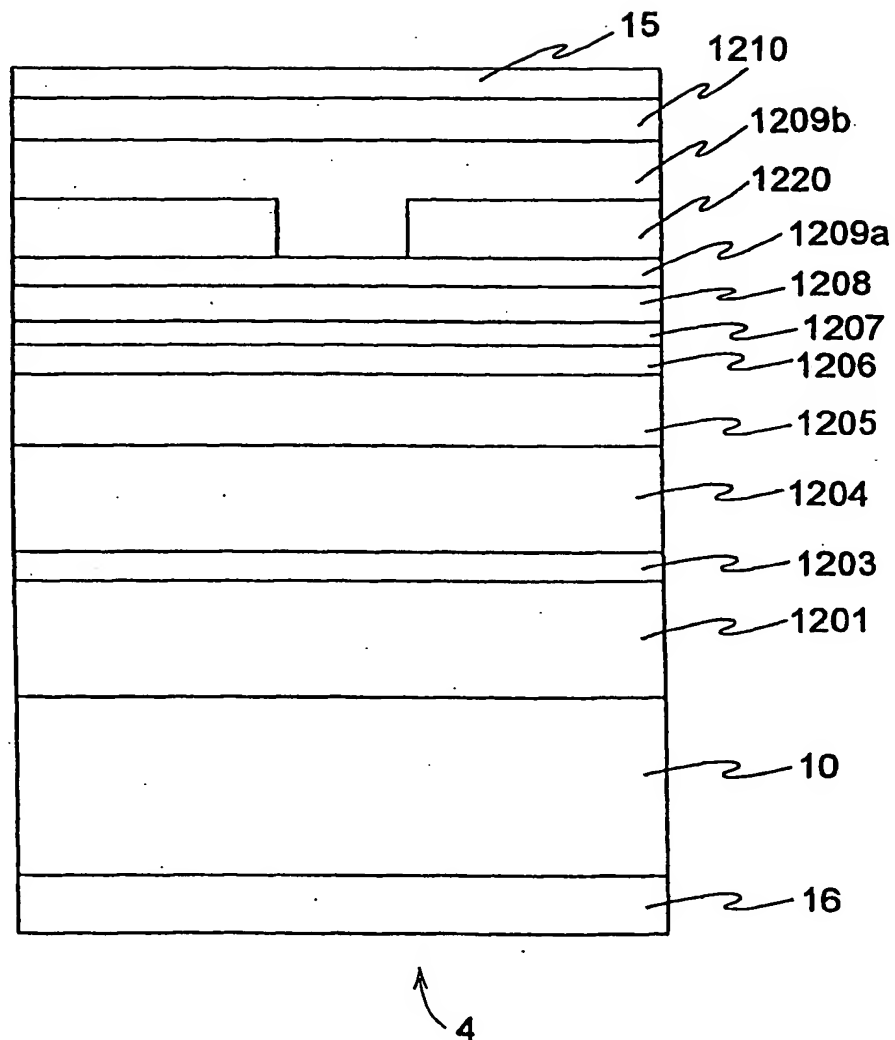


図 15

